



Màster Interuniversitari de Gestió de Sòls i Aigües

Universitat de Lleida – Universitat Autònoma de Barcelona-
Universitat de Barcelona – Universitat Pública de Navarra.

Treball de Fi de Màster
Tipus: Professionalitzador

Determinació dels perímetres de protecció per a una
captació d'aigua potable: els pous de Llumeneres
(Parròquia de Sant Julià de Lòria, Andorra)

Magdalena Rodriguez Royo

Tutor: **Josep Maria Màsich Polo**

ÍNDIX DE CONTINGUTS

1.RESUM.....	3
2.OBJECTIUS	6
3. ANTECEDENTS	7
3.1 Situació de l'àrea d'estudi i caracterització de la captació	7
3.2 Característiques geològiques.....	11
3.3 Característiques geomorfològiques.....	14
3.4 Evolució dels cabals	15
4. QUALITAT DE L'AIGUA	16
4.1 Anàlisi d'auditoria	16
4.2 Geoquímica de les aigües	16
4.2.1 Anàlisi de la conductivitat	17
4.2.2 Anàlisi del pH	18
4.2.3 Anàlisi del potencial redox.....	20
4.2.4 Anàlisi de la temperatura	21
4.3. Caracterització química.....	23
4.4 Anàlisi Isotòpica	24
4.4.1 Deuteri i Oxigen-18	24
5. MODEL HIDROGEOLÒGIC PROPOSAT	30
5.1 Distribució i geometria dels nivells litològics amb significació hidrogeològica. Distribució espacial i interrelacions.	30
5.2 Propietats hidràuliques.....	30
5.2.1 Assaig de bombeig i recuperació	30
5.3 Variació piezomètrica	33
5.3.1 Variació del nivell freàtic i/o piezomètric.....	33
5.4 Direcció del flux subterrani.....	34
5.5 Límits hidrogeològics	34
5.6 Zones de recàrrega	35
5.6.1 Balanç hídric.....	35
5.7 Explotació i descàrrega	40
5.8 Model hidrogeològic	40
6. ANÀLISI DEL RISC DE CONTAMINACIÓ I MESURES DE PROTECCIÓ PROPOSADES	43
6.1 Perímetres de protecció	43
6.1.1 Perímetre de protecció immediat	45
6.1.2 Perímetre de protecció pròxim	46
6.1.3 Perímetre de protecció llunyà	47
6.2 Fonts de contaminació potencials.....	48
6.3 Vulnerabilitat intrínseca de l'aquífer.....	48
6.4 Activitats antròpiques	50
6.5 Mapa de risc de contaminació	52
6.6 Sistemes de prevenció a adoptar	54
6.7 Plans d'emergència i mesures de vigilància	55
7. CONCLUSIONS.....	56
8. LIMITACIONS I RECOMANACIONS	57
9. BIBLIOGRAFIA.....	58

1.RESUM

El present document té com objectiu presentar els perímetres de protecció de la captació d'aigua potable dels pous de Llumeneres, situats a Llumeneres (Sant Julià de Lòria).

L'estudi es va dur a terme durant 6 mesos, on es va realitzar un seguiment dels nivells piezomètrics dels pous, establint un nivell estàtic als mesos de maig-juny de entre 25 i 28 metres de fondària. Les mesures dels paràmetres físico-químics han permès determinar que l'aigua dels pous es relaciona amb un substrat poc reactiu, segurament silícic. L'aigua captada als pous es caracteritza com un aigua dolça de baixa mineralització ($69,6 \pm 3,5 \mu\text{S/cm}$), amb un pH proper a la neutralitat ($7,5 \pm 0,5$), un potencial redox de $-29,1 \pm 25 \text{ mV}$, i presenta una temperatura força homogènia al llarg del temps ($10,8 \pm 0,9 ^\circ\text{C}$) indicant el seu origen subterrani. Les anàlisis d'isòtops estables han establert que les aigües dels pous es recarreguen a la zona de Camp de Claror (cota 2500 m).

A partir de l'anàlisi de totes les dades disponibles, es determina el model hidrogeològic de l'aqüífer que alimenta els pous de Llumeneres. Aquest seria de tipus fissurat. La recàrrega de l'aqüífer vindria deguda per la infiltració directa de les precipitacions i de la fosa de neu a la zona del Camp de Claror a través del regolit existent. El flux de l'aigua segueix la morfologia del límit (falla) entre els materials del Silurià i la Quarsita de Bar.

Respecte als paràmetres hidrodinàmics de la capa aquífer, s'ha determinat que el substrat rocós fracturat pel qual circula l'aigua presenta un coeficient d'emmagatzematge de 0,002 i una transmissivitat de l'ordre dels $30 \text{ m}^2/\text{dia}$. Si es té en compte que la franja donadora d'aigua es relaciona amb un tram de roca fracturada o de diverses fractures, de no més d'uns 25 metres de gruix en conjunt, es pot atribuir a una permeabilitat de l'ordre dels $1,1 \text{ m}/\text{dia}$. Els càlculs sobre el balanç hídric, segons el mètode de Turc, ha permès determinar que de la pluja efectiva total ($0,635 \text{ Hm}^3$), el 10,8% correspon a evapotranspiració (ETR) i el 89,1 % a excedents.

Els perímetres de protecció s'han delimitat seguint el mètode de Wyssling i seguint també criteris hidrogeològics. El perímetre immediat màxim (perímetre I) quedaria definit per una distància, en el sentit del flux, de 270m aigües amunt de la captació i de 14,1 m aigües avall de la mateixa. Actualment els pous no disposen de cap tanca física. No obstant, cal dir que estan protegits per unes arquetes de ferro que impedeix l'accés als mateixos, i per tant, no s'estima necessari adoptar cap altra mesura de protecció. El perímetre pròxim (perímetre II) arribaria fins a l'àrea de recàrrega principal a través de fractures de major o menor identitat. El perímetre llunyà (perímetre III) inclou la resta de l'àrea de recàrrega considerada.

De les activitats antròpiques potencialment contaminants identificades, s'extreu que l'àrea amb major risc (mig) dins dels perímetres, estaria relacionada amb l'àrea de recàrrega de la zona del Camp de Claror on qualsevol vessament de benzina dels vehicles motoritzats podria infiltrar-se ràpidament, arribant a assolir el nivell freàtic. Per minimitzar el risc es proposa restringir la circulació de vehicles no autoritzats a la zona.

RESUMEN

El presente documento, tiene como objetivo presentar los perímetros de protección de la captación de agua potable de los pozos de Llumeneres, situados a Llumeneres (Sant Julià de Lòria).

El estudio se llevo a cabo durante 6 meses, donde se realizo un seguimiento de los niveles piezométricos de los pozos, estableciendo un nivel estático durante los meses de mayo-junio de entre 25 i 28 metros de profundidad. Las medidas de los parámetros físico-químicos, han permitido determinar que el agua de los pozos se relaciona con un sustrato poco reactivo, seguramente silicio. El agua captada en los pozos se caracteriza como un agua dulce de baja mineralización ($69,6 \pm 3,5 \mu\text{S/cm}$), con un pH cercano a la neutralidad ($7,5 \pm 0,5$), un potencial redox de $-29,1 \pm 25 \text{ mV}$, y presenta una temperatura bastante homogénea a lo largo del tiempo ($10,8 \pm 0,9 ^\circ\text{C}$) indicando su origen subterráneo. El análisis de isotopos estables han establecido que las aguas de los pozos se recargan en la zona de Camp de Claror (Cota 2500 m).

A partir de los análisis de todos los datos disponibles, se determina un modelo hidrogeológico del acuífero que alimenta los pozos de Llumeneres. Este sería de tipo fracturado. La recarga del acuífero vendría debida por la infiltración directa de las precipitaciones y de la fosa de nieve en la zona de Camp de Claror a través del regolito existente. El flujo de agua sigue la morfología del límite (falla) entre los materiales del Siluriano y la Quarsita de Bar.

Respecto a los parámetros hidrodinámicos de la capa acuífera, se ha determinado que el sustrato rocoso fracturado por el que circula el agua, presenta un coeficiente de almacenaje de 0,002 y una transmisividad del orden de $30 \text{ m}^2/\text{día}$. Si se tiene en cuenta que la franja donadora de agua se relaciona con un tramo de roca fracturada o de diversas fracturas, de no más de unos 25 metros de ancho en conjunto, estamos hablando, de una permeabilidad del orden de los $1,1 \text{ m/día}$. Los cálculos sobre el balance hídrico, según el método de Turc, han permitido determinar que de la lluvia efectiva total ($0,635 \text{ Hm}^3$), el 10,8% corresponde a ETR (evapotranspiración) y el 89,1 % a los excedentes.

Los perímetros de protección se han delimitado siguiendo el método de Wyssling y criterios hidrogeológicos. El perímetro inmediato máximo (perímetro I) quedaría definido por una distancia, en el sentido de flujo de 270m aguas arriba de la captación i de 14,1 m aguas debajo de la misma. Actualmente los pozos no disponen de ningún cierre físico. No obstante, están protegidos por unas arquetas de hierro que impiden el acceso a los pozos, y por lo tanto no se estima necesario adoptar otras medidas de protección. El perímetro próximo (perímetro II) llegaría hasta el área de recarga principal a través de fracturas de mayor o menor identidad. El perímetro lejano (perímetro III), incluye el resto del área de recarga considerada. De las actividades antrópicas potencialmente contaminantes identificadas, se extrae que el área con mayor riesgo (medio) dentro de los perímetros, estaría relacionada con el área de recarga de la zona de Camp de Claror, donde cualquier vertido de gasolina de los vehículos motorizados podría infiltrarse rápidamente, llegando donde se encuentra el nivel freático. Para minimizar el riesgo se propone restringir la circulación de vehículos no autorizados en la zona.

SUMMARY

This document aims to present the areas of protection for the drinking water abstraction wells at Llumeneres, located in Llumeneres (Sant Sant Julia de Loria).

The study took place during 6 months, where monitoring of groundwater levels of the wells established a static level between 25 and 28 meters deep along the months of May and June. The measurement of the physico-chemical parameters, characterised the well water, as fresh water of low mineralisation ($69.6 \pm 3,5 \mu\text{S/cm}$), with pH levels close to neutral ($7.5 \pm 0,5$) a redox potential of $-29,1 \pm 25 \text{ mV}$, and a homogenous temperature ($10.8 \pm 0,9 \text{ }^\circ\text{C}$) throughout the 6 months of the study suggesting its subterranean nature and relating it with a poorly reactive substrate, probably of silicon type. The stable isotope analysis established the aquifer's recharge area to be located at Camp de Claror (2500 m elevation).

Based on all available data, a hydrogeological model of the aquifer can be determined, classifying the aquifer as fissured bedrock (Rf) type. The aquifer water recharge would occur by direct infiltration of precipitation and snowmelt through the regolith at Camp de Claror. The water would flow along the morphological limit (a fault) between the Silurian and Quarzite of the Bar formation materials.

Regarding to the aquifer's hydrodynamic parameters, it has been determined that the fractured bedrock, where the water circulates, has a storage coefficient of 0.002 and a transmissivity of $30 \text{ m}^2/\text{day}$. Taking into consideration that the providing layer of water is related to a fractured rock section or to various fractures of no more than 25 meters overall in width, a permeability of $1,1 \text{ m/day}$ could be determined. The calculations on the water balance by Turc's formula, determine that of the total effective rain ($0,653 \text{ Hm}^3$), 10,8% is the ETR (evapotranspiration) and the rest (89,1%) belongs to the surplus

Currently the wells are not closed off with a physical fence, however they are protected by a pit and iron lids, preventing access to the wells, therefore no further protection measures are required. Perimeter II would reach to the principal recharge area, through major or minor fractures. Perimeter III includes the rest of the recharge area previously considered. Of the anthropic activities identified as potentially contaminant, it can be said that the area of greater risk (medium) inside of the perimeters, would be related with the recharge area of the Camp de Claror, where any gasoline spill from the motorised vehicles could rapidly infiltrate reaching the water table. In order to minimize the risk it is suggested to restrict access of non-authorised vehicles to the area.

2.OBJECTIUS

Aquest treball de fi de màster, consisteix en proposar els perímetres de protecció de la captació de dos pous a Llumeneres, a la parròquia de Sant Julià de Lòria (Andorra), amb la finalitat de poder conèixer els espais físics que en cas de contaminar-se afectarien amb una certa rapidesa les aigües captades, i garantir el compliment de l'Annex III del vigent "*Reglament relatiu als criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua destinada al consum humà*" (BOPA 88, any 19, data 24-10-2007, modificat pel BOPA 019, any 25, data 24-04-2013).

Primerament es donarà a conèixer els tipus de captació, la seva situació i coordenades. Seguidament es farà una caracterització a nivell geològic, geomorfològic i hidrogeològic i del treball de camp realitzat. A continuació s'establirà la piezometria potencial del sector, mitjançant la interpretació de les característiques físico-químiques de les aigües captades i dels punts d'aigua més propers a la captació, així com l'anàlisi de l'evolució dels nivells piezomètrics de la captació i els isòtops de l'aigua. Els paràmetres hidrogeològics del subsòl es determinaran a partir de la realització d'un assaig de bombeig-recuperació realitzat en els pous.

Amb aquest conjunt de dades i tenint en compte el balanç hídric del sector, s'establirà el model hidrogeològic que serà la base per a la determinació dels perímetres de protecció, els quals a més a més tindran en compte les zones més vulnerables a la contaminació així com el risc de contaminació associat.

Finalment es determinaran les mesures preventives a tenir en compte i els plans d'emergència en cas de produir-se una contaminació.

3. ANTECEDENTS

3.1 Situació de l'àrea d'estudi i caracterització de la captació

La captació dels pous de Llumeneres, consta de dos pous, situats al GR7¹, que surt des de Llumeneres abans de creuar el riu de Llumeneres, a una cota aproximada de 1317 metres. L'accés als pous es pot fer a través de la carretera secundària núm. 120, fins arribar al desviament cap a Llumeneres (Fig.1 i Fig.2). En acabar el tram asfaltat, comença el camí que coincideix amb el GR7, en aquest punt es trobarien els pous al mig del camí.

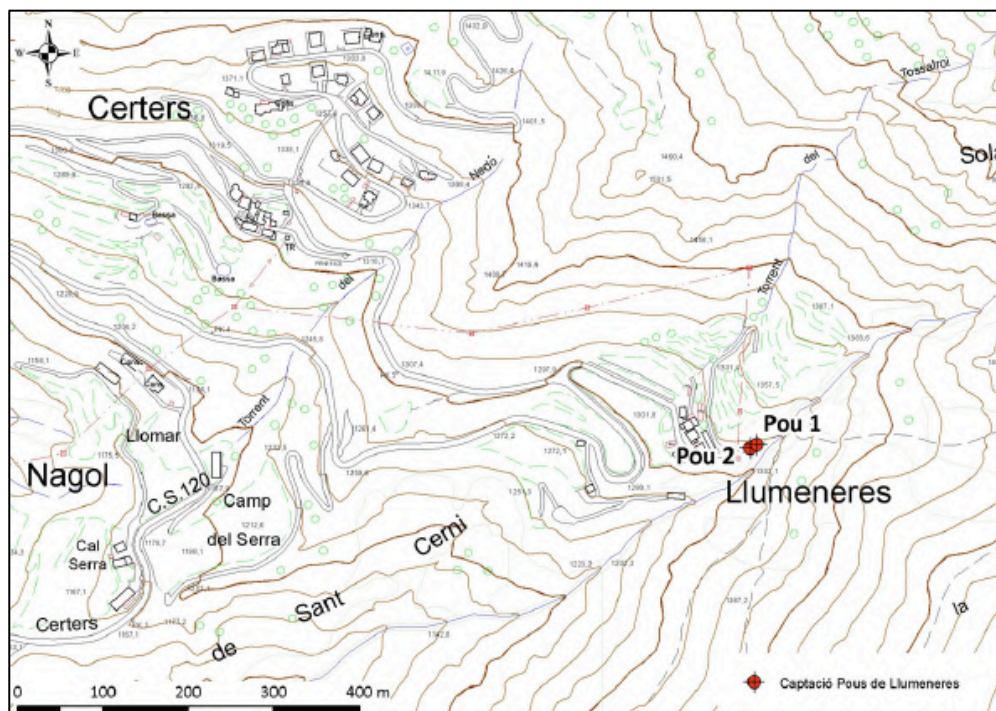


Figura 1. Situació dels pous sobre el fons topogràfic a escala 1:5000 (M.I. Govern,1995)

La captació consta de dos pous verticals, separats per 11 metres, d'uns 150 metres de fondària aproximadament, que capten les aigües subterrànies que circulen en el substrat rocós. L'aigua captada als pous de Llumeneres es conduïda fins al dipòsit de Certers, on abasteix a la població de Certers, Llumeneres i Nagol (Xarxa Nagol-Certers).

¹ Gran Ruta 7

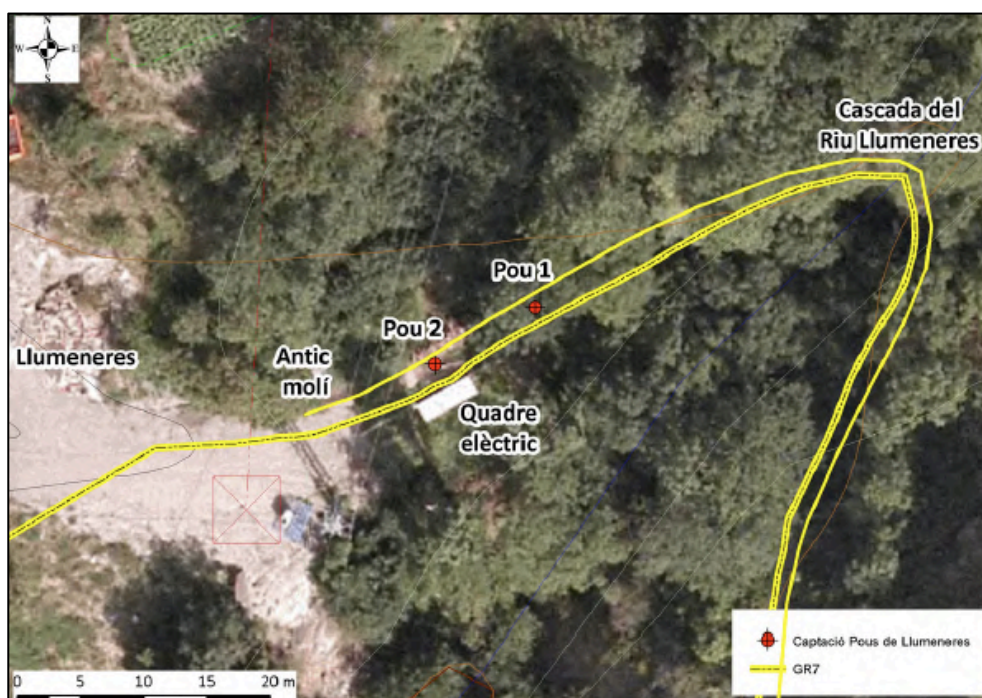


Figura 2. Situació en detall dels pous de Llumeneres (Ortofoto M.I Govern, 2003)

A cap dels antecedents accedits es disposa de les coordenades de cadascun dels pous. No obstant a partir de la informació que es disposa facilitada pel Servei d'Aigua, s'anomena "Pou 1" al pou situat més a prop de la cascada del riu de Llumeneres, i "Pou 2" al situat més a prop del molí de Llumeneres, just enfront de la caseta que conté el quadre elèctric de les bombes, les seves coordenades Lambert III es presenten en taula 1.

Taula 1. Coordenades Lambert III per a la situació dels pous de Llumeneres

Captació	X	Y	Z
Pou de Llumeneres 1	532181,3	19501,1	1317
Pou de Llumeneres 2	532173,4	19496,7	1317
	metres		

Segons la informació disponible, el pou 1 es va construir entre Juny i Novembre de 1990 a càrrec de la empresa PERCU S.A. La previsió inicial era fer un pou de 50 metres de fondària, però segons l'informe "Resum econòmic i desenvolupament del pou de Llumeneres" (ENGINESA, 28/11/1990) es va decidir baixar fins a una profunditat de 150 metres.

El pou 2 es va construir entre Novembre de 1991 i l'Abril de 1992, també a càrrec de l'empresa de perforació PERCU S.A. Segons la columna estratigràfica presentada per l'empresa perforista (Fig.3) el pou té una profunditat de 150 metres, i es va perforar amb un diàmetre >450 mm en els seus primers metres, amb una canonada de revestiment de 450 mm (diàmetre) entre 0 i 34 metres i de 350 mm (diàmetre) entre 34 i 150 metres.

Tot el pou esta perforat en substrat rocós, on es diferencien paquets de calcàries, calcàries alternant amb pissarres, calcàries alternant amb margues, pissarres alternant amb calcàries i pissarres alternant amb quars.

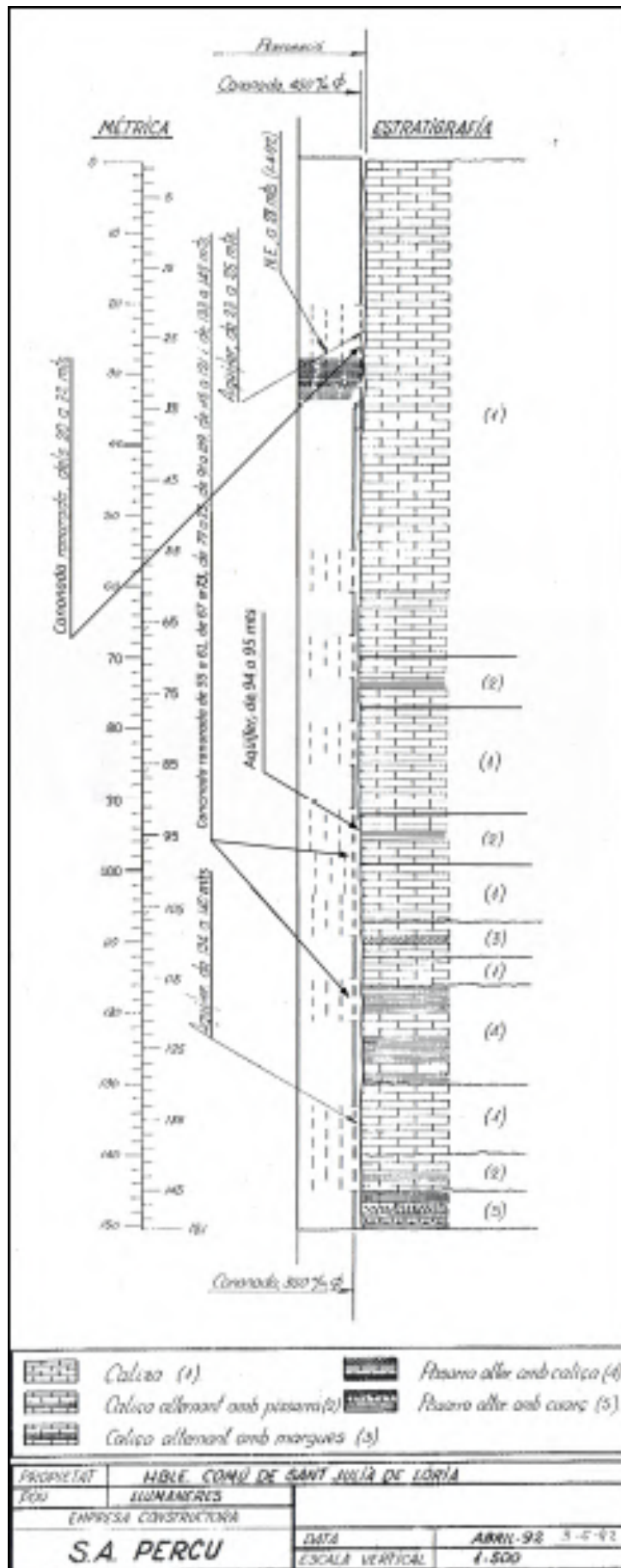


Figura 3. Columna estratigràfica pou 2 (PERCU S.A.,1998)

Segons la columna estratigràfica (Fig.3) es diferencien un total de 3 trams aquífers situats entre:

- 23 i 25 metres
- 94 i 95 metres
- 134 i 140 metres

Com es pot veure són trams d'un gruix poc important : 2, 1 i 6 metres respectivament, el que ja dóna una idea de que es tracta d'un aquífer per fissuració.

No es dóna cap informació sobre el cabal obtingut durant la perforació , ni augments ni disminucions. No obstant un acta de visita d'obra amb data del 24/03/1994 per part de la direcció tècnica explica que s'observa entubat fins els 143 metres, suggerint aquesta dada com la fondària aproximada del pou.

El dia 12/09/2013 , durant el decurs d'aquest seguiment, i arran de que la bomba es va cremar, s'aprofita l'extracció de la mateixa per mesurar la fondària real del pou 2 de Llumeneres. Amb l'ajuda d'una plomada i un cordill es mesura una profunditat de 139,38 metres. Probablement el fons del pou està colmatat.

3.2 Característiques geològiques

Des del punt de vista de la geologia estructural i tectònica, cal dir que a Andorra, les formacions litològiques d'edats compreses entre el Cambro-Ordovicià i el Devonian han estat sotmeses a dos episodis tectònics principals, les orogènies Herciniana i Alpina, degut als quals han sofert deformacions, plegaments i/o trencaments importants. Els pous de Llumeneres estan ubicats dins del Dom de la Rabassa (Fig.4), molt a prop del límit entre la macroestructura del Dom de la Rabassa i la del Sinclinal de Llavorsí.

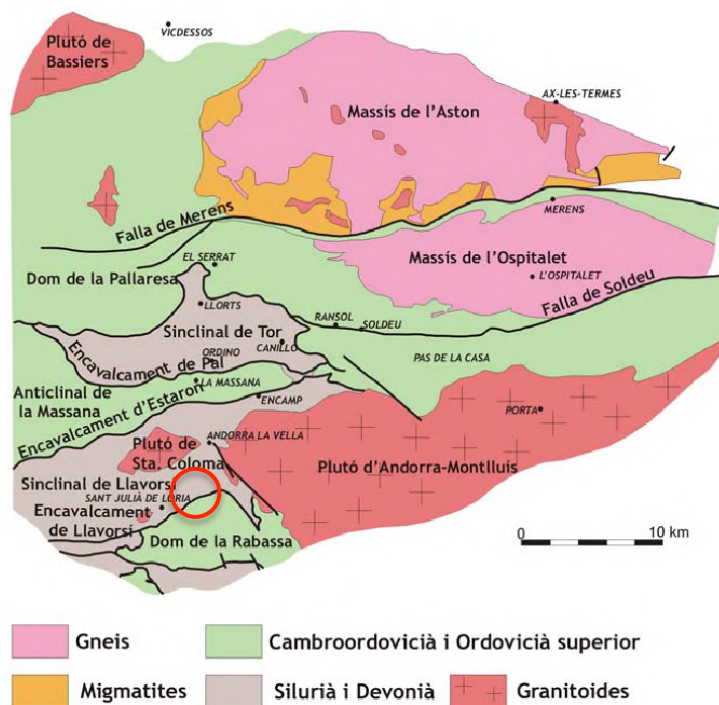


Figura 4. Esquema representant les principals macroestructures d'Andorra i la situació dels pous de Llumeneres. Modificat a partir de Hartevelt (1970), Besson et al. (1990) i Poblet (1991). (Modificat per Casas i Masachs per al CRECIT, 2002)

El Dom de la Rabassa, es tracta d'una estructura anticlinal antiformal allargada en direcció OSO-ENE, format per materials Cambro-Ordovicians i Ordovicians superiors. S'estén al voltant d'uns 15 km entre Argoell a l'oest i el Camp de la Claror a l'est, amb una amplada màxima d'uns 5 km al sector central.

Segons Hartevelt (1970) i Bou (1988) es tracta d'un plec asimètric de l'estratificació, que en el flanc nord cabussa entre 20 i 40° cap al NNO i al flanc sud és subvertical o té capbussaments capgirats cap al nord. Per Poblet (1991) aquesta estructura resulta de la interferència entre un plec preclivatge principal, vergent cap al nord, i un plec sinclivatge vergent cap al sud que presenta un acabament occidental periclinal amb un capbussament d'uns 10° cap a l'oest. Al nord està en contacte amb els materials devonians del Sinclinal de Llavorsí mitjançant l'encavalcament de Llavorsí, i pel sud la falla d'Arcavell el situa per damunt dels materials de la branca sud del sinclinal de Llavorsí. A l'est queda tallat per les falles de Claror i pel granit d'Andorra-Montlluís. En quant al metamorfisme, el Dom de la Rabassa no en presenta, però cal indicar que els pous es troben al contacte del Dom de la Rabassa amb el Sinclinal de Llavorsí, on pot donar-se un metamorfisme de contacte, que pot tenir fins a un quilòmetre de gruix.

El sinclinal de Llavorsí, es tracta d'una estructura sinformal constituïda per materials silurians i devonians que s'estén uns 40Km en direcció E-O, entre el massís de la Maladeta a l'oest, i el batòlit d'Andorra Montlluís a l'est. A la zona central es fa més estret i en els dos extrems es fa

més ample. El cabussament del flanc sud, a la zona central, es d'uns 30° i el del flanc del nord d'uns 50°. Pel sud està limitat per l'encavalcament de Llavorsí, que es situa per damunt dels materials Cambro-ordovicians i ordovicians superiors del dom de l'Orri. Al nord l'encavalcament d'Estaron el posa en contacte amb el dom de la Pallaresa o amb l'anticlinal de la Massana. A Andorra aflora només el sector més oriental d'aquesta estructura, on es divideix en dues branques que envolten, pel nord i pel sud, el dom de la Rabassa

Segons el mapa geològic de BESSON (1990), la zona on s'ubica la captació dels pous de Llumeneres es caracteritza per ser materials d'origen paleozoic (Fig.5). Segons aquest autor els pous s'emplaçarien sobre el substrat rocós de la Formació (Fm) Estana, molt a prop del contacte amb la Fm Cava. Segons el mapa geològic inèdit de Hartevelt & Zwart (1968), els pous s'emplaçarien en el contacte entre les pissarres negres del Silurià i la formació Quarsita de Bar de l'Ordovicià superior (Fig.6).

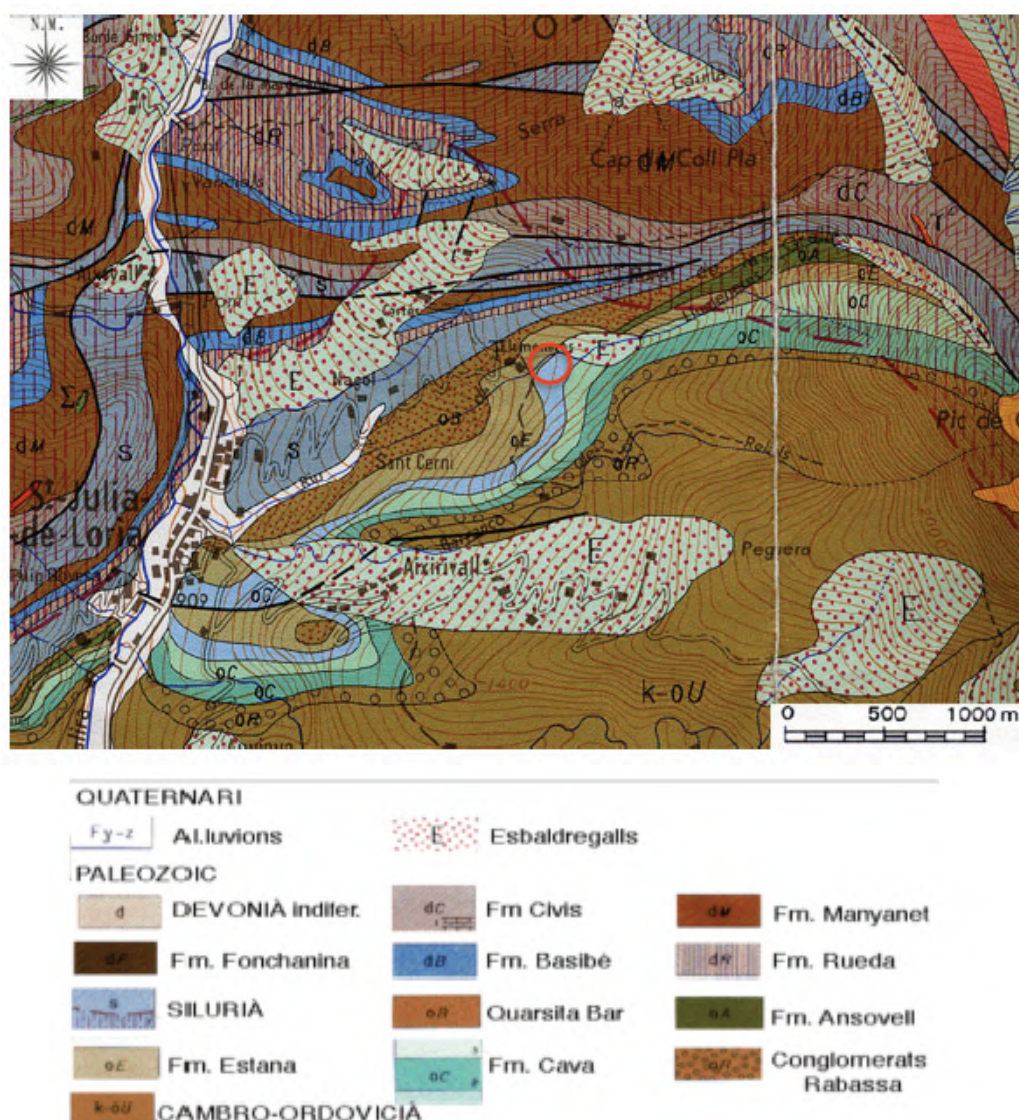


Figura 5. Mapa geològic mostrant la situació dels pous de Llumeneres. Escala 1:50000 (Besson et al., 1990)



Figura 6. Mapa geològic mostrant la situació dels pous de Lluçenères. Escala 1:50000 (Hartevelt & Zwart, 1968) [Mapa i llegenda detallat en **Annex A2.3**]

Si observem ambdós mapes es veu com existeix un decalatge en la ubicació dels contactes. En el cas del mapa geològic de Besson els contactes estarien situats més al nord, mentre que en el cas del mapa de Hartevelt & Swart estarien desplaçats més al sud.

La columna litològica del pou 2 de què es disposa (Fig.3), descriu una seqüència on els primers materials de la sèrie es defineixen com a “calcàries”, que es van intercalant a partir dels 70 metres de fondària amb altres materials definits com “calcàries alternant amb pissarres i calcàries alternant amb margues” i cap als 145 metres es defineix com un paquet de “pissarres alternant amb quars”. Aquesta descripció tan pot coincidir amb el mapa de Besson on les calcàries correspondrien a la Fm Estana, com al mapa de Hartevelt & Zwart, on aquestes calcàries es podrien relacionar amb el paquet de calcàries devonianes que es situen per sobre de la captació segons l'estructura geològica complexa d'encavalcaments de la zona. Segons la columna de descripció d'ambdós pous es considera que el tram aquífer donador d'aigua es situa entre els 100 i 150 metres de fondària, i més concretament segons la descripció del pou 2, entre 134 i 140 metres.

El quimisme de les aigües, amb una conductivitat per sota dels 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Apartat 5) ens indica que les aigües circulen per un substrat rocós poc reactiu. Per aquesta raó es pensa que el mapa geològic presentat per Hartevelt & Zwart s'adiu més a la realitat geològica de la zona, on les aigües circulen entre el contacte del Silurià amb la Quarsita de Bar. Una descripció dels diferents materials implicats en aquesta zona es pot trobar l'apartat A2.3 de l'**annex** d'aquest treball.

3.3 Característiques geomorfològiques

Segons la cartografia de Prat, 1980, la zona on s'ubiquen els pous està marcada per un clar domini de les formes de vessant i estructurals (Fig.7).

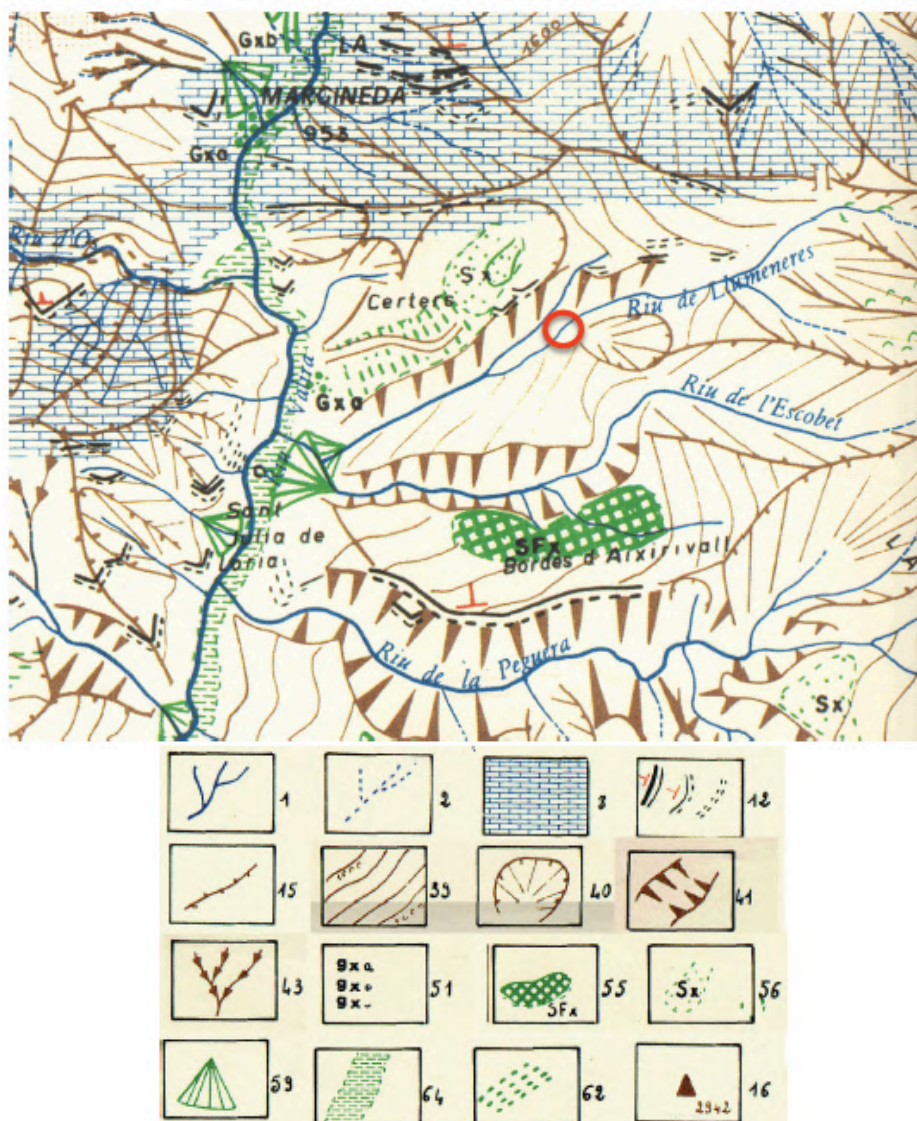


Figura 7. Mapa geomorfològic segons Prat (1980), mostrant la situació dels pous de Lluçenyes. (Llegenda detallada en **Annex A2.3**)

Llegenda: Hidrografia - Glacial: 1) Curs permanent, 2) Curs temporal, 8) Llac; Estructura i formes estructurals: 12) Carena; Formes d'erosió: 15) Cresta d'erosió torrencial, 16) Pic amb indicació de la cota altitudinal, 35) Forma d'antic relleu, 39) Vessant i vall periglacial no retocada per la gelera (indicacions de les corbes de nivell), 40) Lloc de recepció torrencial, 41) Gorja fluvial, 43) Vessant Axaragallada; Formes d'acumulació: 51) Indicació de l'estadi glacial: Gxa: Morrenes de la fase d'expansió del màxim glacial, 55) Glacis d'acumulació del màxim glacial, 56) Formes de solifluxió del màxim glacial, 59) Conus de dejecció, 62) Col·luvions de vessant 64) Plana al·luvial actual i subactual.

Una cartografia més actualitzada sobre la geomorfologia de la zona on s'ubica la captació és el mapa geomorfològic (Fig.8) publicat per l'Institut d'Estudis Andorrans (Copons, 2005) .

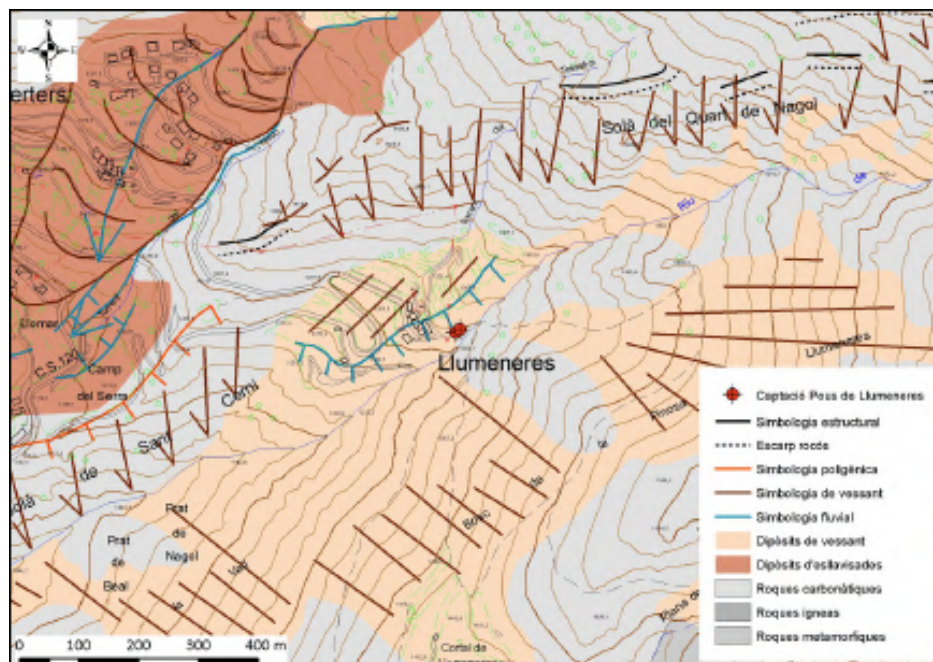


Figura 8. Mapa geomorfològic mostrant la ubicació dels pous de Llumeneres. Escala: 1:50.000 (Copons, 2005).

En aquest mapa (Fig.8) es posa en evidència que la dinàmica principal que modela el relleu és la dinàmica de vessant. Els pous, segons el mapa, es situen sobre uns dipòsits de vessant associats amb la dinàmica de vessant existent. Així mateix, cal destacar la forma fluvial situada al nord dels pous de Llumeneres, es tracta d'un escarpament d'erosió fluvial, que ja Prat (1980) classificava com a Gorja fluvial. En aquest sentit, cal destacar la cascada del riu de Llumeneres que es produeix gràcies a aquest escarpament. Tot just al nord dels pous, per sobre de la gorja fluvial, es cartografia una morfologia de vessant regular, mentre que més al nord, coincidint amb els afloraments rocosos, es determina una morfologia de vessant rocós molt escarpat amb abundants cicatrius de desprendiments. També s'hi cartografien escarpaments rocosos al sector del Solà del Quart de Nagol. Cal dir, però, que en la zona del camí on s'ubiquen els pous, els dipòsits de vessant són pràcticament inexistents, ja que el substrat rocós aflora allà mateix.

3.4 Evolució dels cabals

En el cas dels pous de Llumeneres, no es pot parlar d'un cabal de descàrrega natural ja que el cabal d'aigua depèn del règim d'explotació del pou i dels paràmetres hidrodinàmics de l'aquífer, ambdós temes es tractaran més endavant als **capítols 5.7 i 5.2** d'aquest informe.

D'altra banda, l'evolució dels nivells freàtics dins del pou es presentaran al **capítol 5.3.1** del present informe.

En aquest punt es pot donar com a dades orientatives les que es disposen del cabal durant la perforació del primer pou. On segons l'informe "*Resum econòmic i desenvolupament del pou de Llumeneres*" (ENGINEESA, 28/11/90), el cabal entre 0 i 70 metres era d'uns 3 m³/h, entre 70-100 metres de fondària el cabal va augmentar fins als 18 m³/h, i entre 100 i 150 metres de profunditat el cabal estimat era de 35 m³/h.

Les proves de bombeig posteriors, segons “Informe relatiu als resultats dels aforaments fets a Certers. Parròquia de Sant Julià de Lòria” (ENGINEESA, febrer 1991), donen com a resultat que el cabal que pot arribar a donar el pou és de l'ordre dels 30 m³/h, tot i que es recomana que el cabal de bombeig òptim se situï entre els 20 i 25 m³/h.

4. QUALITAT DE L'AIGUA

4.1 Anàlisi d'auditoria

Es disposa de l'anàlisi d'auditoria amb data del 13/10/2009, realitzada per ECOSISTEMES a la captació dels pous de Llumeneres. L'anàlisi es va realitzar seguint les directius del Reglament tècnico-sanitari (BOPA nº 88- any 19-24/10/2007) i es pot consultar de manera íntegra a l'**annex** (apartat A3).

Aquest tipus d'anàlisis estan enfocats a determinar si les aigües captades compleixen els nivells o concentracions permessos per poder ésser usades pel consum humà, per la qual cosa no s'analitzen els principals components inorgànics que permetrien caracteritzar-la químicament (Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, SO₄⁻, NO₃⁻, CO₃H⁻). No obstant es presenta una caracterització de les aigües (apartat 4.3), a partir de les materials geològics de l'aqüífer, per on circula l'aigua.

Les analítiques posteriors de la xarxa, recollida a la Font de Nagol el 7/11/11, mostren els paràmetres dins dels paràmetres admissibles. Com es pot observar a la taula A.3 de l'**annex** de documentació, tots els paràmetres analitzats al 2009 es situaven per sota del nivell màxim admissible disposat en el Reglament tècnico-sanitari actual (BOPA nº 88- any 19-24/10/2007). Respecte als caràcters microbiològics es veu com no es detecta la presència de cap element patògen a la captació, no obstant, cal recordar que les aigües captades passen posteriorment a un dipòsit que disposa d'un sistema de desinfecció en continu amb hipoclorit sòdic i d'allà les aigües tractades són distribuïdes per al consum, pel que en el cas d'una contaminació puntual existent desapareixeria amb aquest tractament.

4.2 Geoquímica de les aigües

Per tal de conèixer quines són les dimensions de l'aqüífer captat i quin és el règim del flux de l'aigua, ens cal conèixer en la mesura del possible quines són les característiques geoquímiques de les aigües del sector, per tal de conèixer la seva procedència.

En el document on s'adjunten els annexos hi ha un capítol (A.4) en el qual es fa referència a la metodologia seguida per dur a terme el seguiment físico-químic, així com eines usades per interpretar les dades aforades i les dades obtingudes.

El seguiment ha consistit en prendre mesures, en els pous de Llumeneres de diferents paràmetres físico-químics (conductivitat, pH, temperatura i potencial redox) des del maig fins a l'octubre del 2013, amb un total de 6 mesures durant 6 mesos. Les mostres dels pous s'han agafat per bombeig a excepció d'una mostra quan es va treure la bomba del pou 2 perquè estava cremada, que es va fer prenent la mostra amb un tomamostres a la part més superficial del pou. Així mateix, també es van prendre dades del nivell freàtic dins del pou amb una sonda piezomètrica de 50 metres, sempre que va ser possible.

Així mateix, cal dir que durant el seguiment dels pous de Llumeneres també es va realitzar el seguiment de la font de Certers, ja que ambdues captacions pertanyen a la mateixa xarxa de distribució i es va creure convenient fer especial atenció en la possible relació entre elles.

4.2.1 Anàlisi de la conductivitat

Els pous de Llumeneres presenten una conductivitat mitjana de l'ordre de $74 \pm 14,3 \mu\text{S/cm}$. En el pou 1 els valors obtinguts varien entre 64,9 i 71,5 $\mu\text{S/cm}$, essent la mitjana de $68,9 \pm 2,7 \mu\text{S/cm}$. Mentre que el pou 2 els valors obtinguts varien entre 65,1 i 113,7 $\mu\text{S/cm}$, essent la mitjana de $81,6 \pm 21,8 \mu\text{S/cm}$. En aquest cas però, el valor de 113,7 $\mu\text{S/cm}$ surt de la tendència general, s'ha de tenir en compte que aquest valor es va mesurar el dia 12/09/13, el dia després de treure la bomba del pou que s'havia cremat i per tant la mostra no es va obtenir per bombeig, sinó amb un tomamostres, per tant, pot ser que estigui influenciada per altres condicions. Si no es té en compte aquest valor la mitjana de la conductivitat en el pou 2 seria, doncs, de $70,9 \pm 5,2 \mu\text{S/cm}$, que és del mateix ordre que el pou 1. Situant-se la mitjana general dels 2 pous en $69,6 \pm 3,5 \mu\text{S/cm}$. Recordem que en l'anàlisi d'auditoria, el 13/10/2009 presentava un valor de 85,7 $\mu\text{S/cm}$.

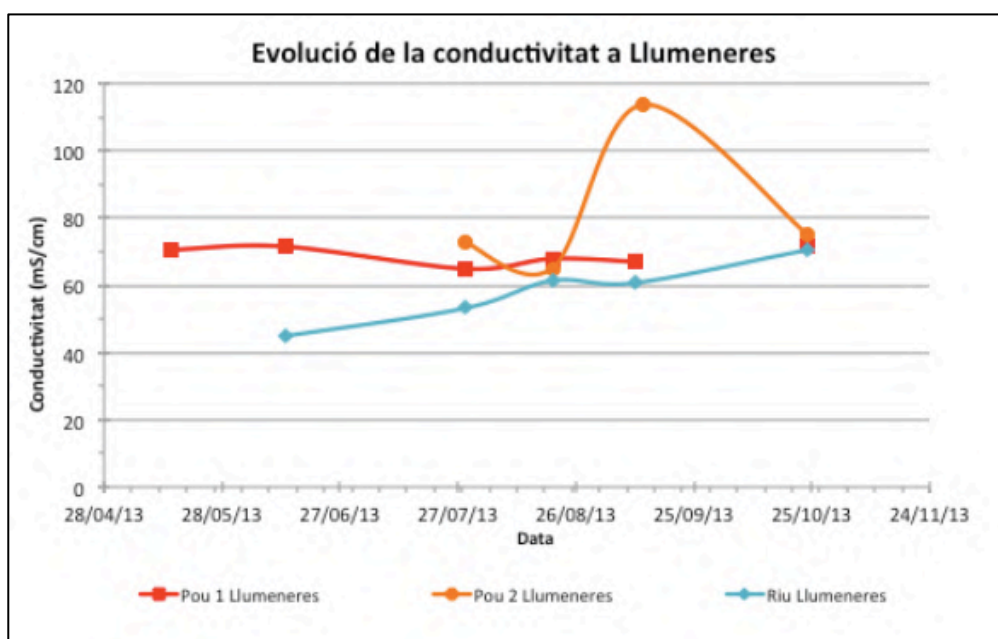


Figura 9. Evolució de la conductivitat dels pous de Llumeneres on també s'han representat les dades de conductivitat del riu de Llumeneres.

A la figura 9 s'observa com la conductivitat al pou 1 es comporta de manera molt regular, presentant una tendència força constant al llarg del temps. En el cas del pou 2 s'ha de tenir en compte, que les primeres lectures (maig i juny) no es van poder agafar, perquè la bomba no funcionava correctament, i no hi havia espai suficient com per poder agafar una mostra d'aigua amb tomamostres. La lectura del mes de setembre està influenciada pel fet d'haver tret la bomba i que l'aigua es recollís de manera més o menys superficial. Així doncs, si només ens fixem en les lectures preses per bombeig es veu que són valors molt similars al pou 1.

El riu de Llumeneres presenta uns valors més oscil·lants al llarg de l'any, amb valors que varien entre els 44,7 i els 70,5 $\mu\text{S/cm}$, situant-se la mitjana en $58,1 \pm 9,7 \mu\text{S/cm}$. Hi ha un augment progressiu de la conductivitat des de l'inici del seguiment fins a la seva finalització, això podria estar relacionat amb que les primeres mostres (maig) corresponen a la fosa de neu (aigües menys mineralitzades) i les darreres mostres al tram final de l'estiatge (on podria tenir una component important d'aigües subterrànies, de fet el valor màxim seria similar al mesurat als pous de Llumeneres).

4.2.1.1 Relació entre les precipitacions i la conductivitat

A partir del gràfic (Fig.10) no s'arriba a establir cap relació concreta entre l'aigua de pluja i els punts aforats. Cal dir que la cadència de les mesures és massa gran com per establir amb detall aquets tipus de relacions, i caldria doncs, disposar d'un seguiment més continu en el temps.

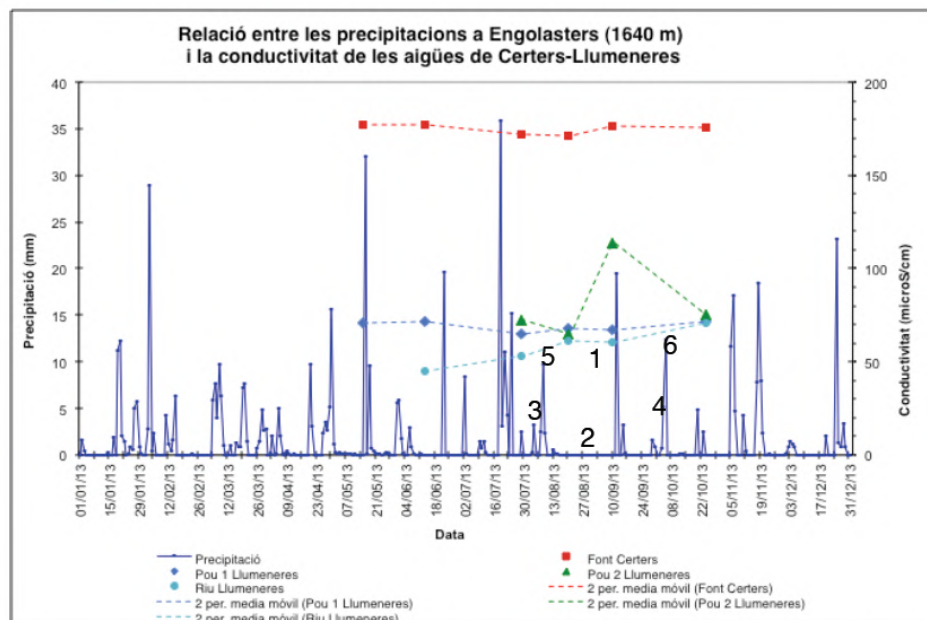


Figura 10. Gràfic relacionant les precipitacions de l'estació meteorològica d'Engolaster de FEDA amb els valors de la conductivitat per als punts d'aigua del sector de Llumeneres i la font de Certers, en especial amb les captacions d'aigua potable.

No obstant, si ens fixem en el comportament del riu de Llumeneres s'hauria de veure un reflex de la precipitació en les aigües. Es pot veure com entre les lectures del 20/08/13 i del 10/09/13 (punt 1 del gràfic. Fig. 10) el cabal sembla que no pateix cap variació, si relacionem aquesta tendència amb les pluges es veu que tot just el període entre aquestes dos lectures no hi ha cap precipitació (punt 2). Les pluges anteriors a la lectura del 20/08/13 (punt 3) i les posteriors al 10/09/13 (punt 4) es podrien reflectir en les pujades de cabal del riu (punt 5 i 6, respectivament). Per tant es confirma que la conductivitat del riu té una relació directa amb les precipitacions del moment.

En quant a la tendència dels pous de Llumeneres, s'observa que és molt similar al riu de Llumeneres, però amb una component més esmorteït. En canvi la font de Certers sembla que pateix un cert retard entre el comportament del riu i l'aigua de la font. Aquest fet vindria a complementar les dades obtingudes a partir dels isòtops (**capítol 5.3**) on s'observa que existeix una certa cadència entre la recàrrega i la sortida de l'aigua a la captació.

4.2.2 Anàlisi del pH

Com es pot observar en la figura 11, els pous de Llumeneres presenten un pH mitjà de l'ordre de $7,5 \pm 0,5$. En el pou 1 els valors obtinguts varien entre 6,62 i 8,09, essent la mitjana $7,5 \pm 0,5$. Mentre que el pou 2 els valors obtinguts varien entre 6,88 i 8,07, essent la mitjana de $7,6 \pm 0,5$. Recordem que en l'anàlisi d'auditoria, el 13/10/2009 presentava un valor de 7,65.

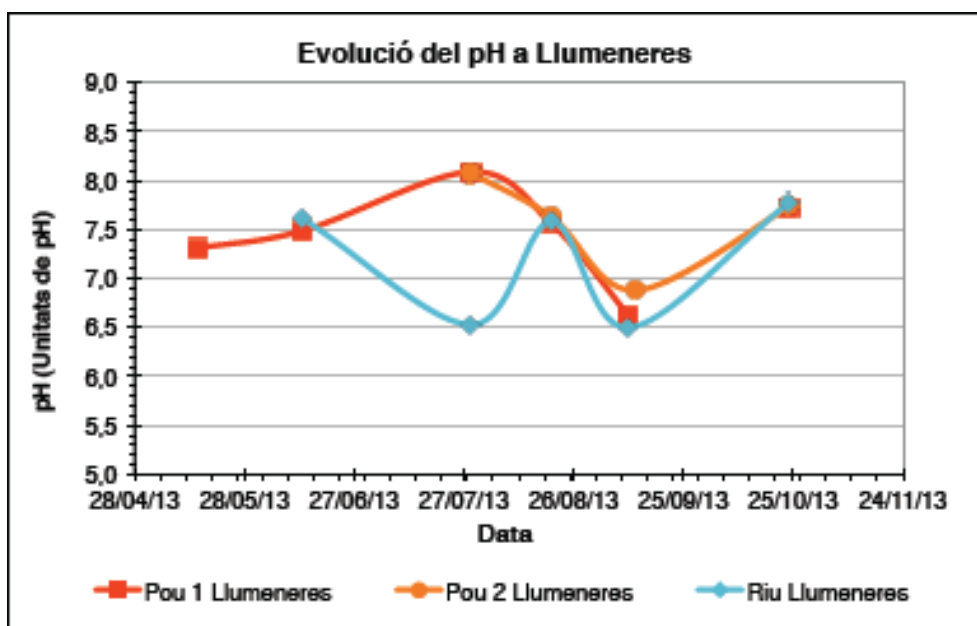


Figura 11. Evolució del pH dels pous de Llumeneres i el riu de Llumeneres.

Ambdós pous segueixen la mateixa tendència (Fig.11) en quant aquest paràmetre, amb valors pràcticament iguals, el pH dels pous presenta un màxim relatiu al mes de juliol i un mínim relatiu al mes de setembre. El riu de Llumeneres presenta uns valors que varien entre els 6,50 i els 7,78, situant-se la mitjana en $7,2 \pm 0,6$ i té un comportament força més irregular que els pous. Respecte a aquest paràmetre, en general es veu com les aigües presenten un valor lleugerament bàsic, però molt proper a la neutralitat. Essent les aigües del pou lleugerament més bàsiques que les aigües superficials. Sempre cal recordar que les mesures són de tipus puntual.

4.2.2.1 Anàlisi de la relació pH-conductivitat

El gràfic (Fig.12) mostra la relació entre la conductivitat i el pH, obtenint en termes generals una correlació negativa, es a dir, una relació inversa entre els dos paràmetres, el que indica que s'afavoreix la presència de l'àcid fort (H_2CO_3 o H_2S), afavorint la dissolució dels carbonats i dels sulfurs. En el gràfic s'observa clarament com el valor de la conductivitat de 113 $\mu\text{S}/\text{cm}$ surt del núvol de punts propis de la captació i no s'hauria de tenir en compte.

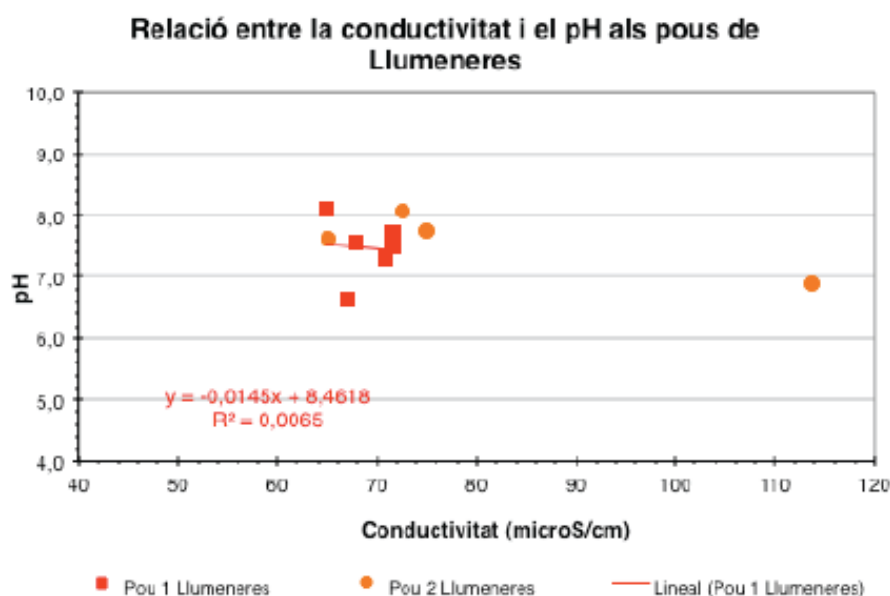


Figura 12. Relació entre la conductivitat i el pH

4.2.3 Anàlisi del potencial redox

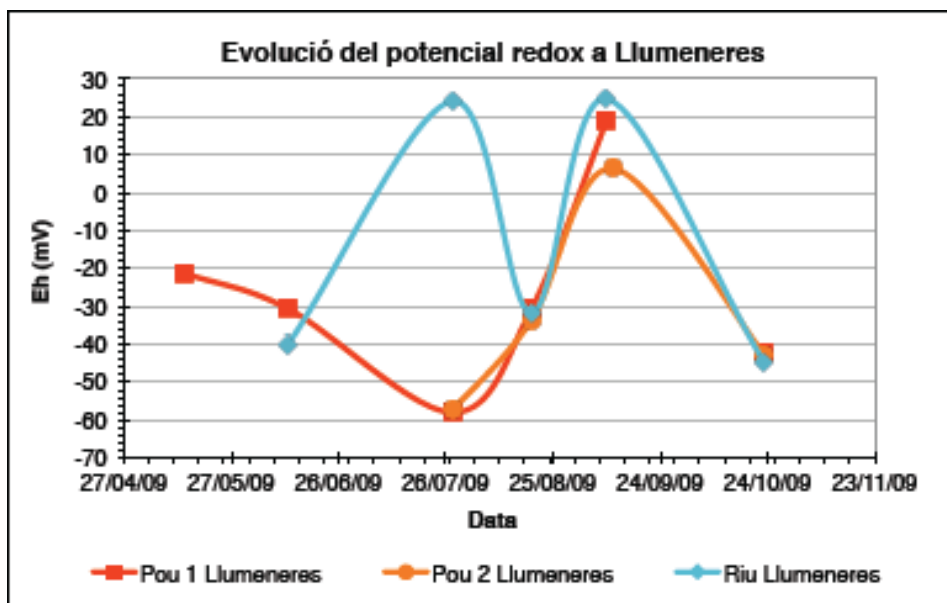


Figura 13. Evolució del potencial redox dels pous i el riu de Llumeneres.

Com podem observar en la figura 13, els pous de Llumeneres presenten un valor mitjà del potencial redox de $-29,1 \pm 25$ mV. En el pou 1 els valors obtinguts varien entre -58 i 19 mV, essent la mitjana de $-27,3 \pm 26$ mV. Mentre que el pou 2 els valors obtinguts varien entre -57,2 i 6,3 mV, essent la mitjana de $-31 \pm 27,2$ mV. Ambdós pous segueixen la mateixa tendència en quant a aquest paràmetre, amb valors pràcticament iguals. El potencial redox dels pous presenta un mínim relatiu al mes de juliol i un màxim relatiu al mes de setembre. El riu de Llumeneres presenta uns valors que varien entre els -44,7 i els 24,7, situant-se la mitjana en $-13,5 \pm 34,9$ mV. En aquest cas (Fig.14) l'evolució general del potencial redox és inversa al valor del pH (potencial redox decreix, quan el pH creix). Aquest fet és degut a que en medis on hi intervé l'aigua el pH influeix en les reaccions rebaixant l'Eh quan augmenta el valor del pH (Mingarro i Ordoñez, 1982).

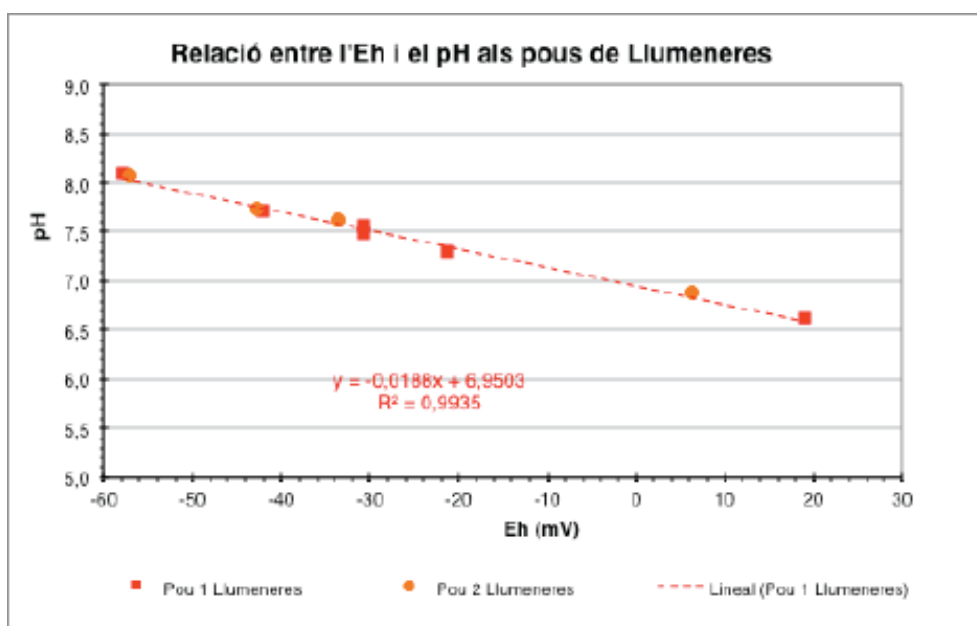


Figura 14. Evolució general del valor del potencial redox

Segons l'exposat a l'**annex** de documentació (A4.3) l'eina més útil en l'estudi de les reaccions redox és el diagrama pH-Eh.

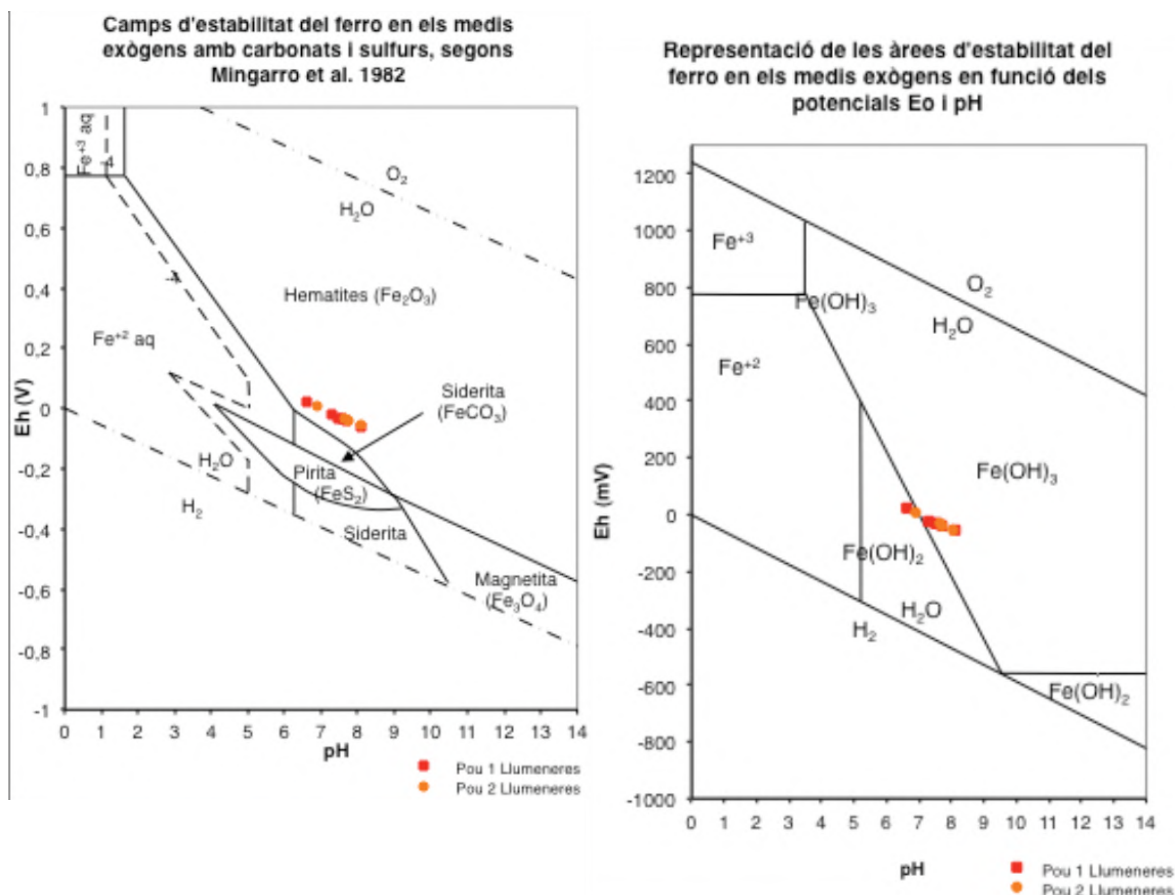


Figura 15. Representació de les àrees d'estabilitat del ferro

En base al mateix apartat de l'annex, les aigües mostrejades dels pous de Llueneres són coherents amb la presència d'hidròxids de ferro ferrós (Fig. 15). Tenint en compte que en l'aigua el ferro pot conviure amb altres espècies com els carbonats i els sulfurs, l'Eh permet determinar algunes de les condicions físico-químiques que s'han donat en el medi. En el cas de les aigües analitzades cauen dins del camp d'estabilitat dels òxids de ferro (hematites).

4.2.4 Anàlisi de la temperatura

Tal i com es pot observar en figura 16, els pous de Llueneres presenten una temperatura mitjana de l'ordre de $10,8 \pm 0,9$ °C. En el pou 1 els valors obtinguts varien entre 8,6 i 12,1 °C, essent la mitjana de $10,06 \pm 1,2$ °C. Mentre que el pou 2 els valors obtinguts varien entre 10,7 i 11,4 °C, essent la mitjana de $11 \pm 0,3$ °C. Ambdós pous segueixen la mateixa tendència en quan aquest paràmetre, amb valors pràcticament iguals. Durant el seguiment, la temperatura ha anat augmentant progressivament des del mes de maig, fins assolir una temperatura més estable al voltant del mes de juliol (Fig.17). El riu de Llueneres presenta uns valors que varien entre els 8,3 i els 11 °C situant-se la mitjana en 10 ± 1 °C.

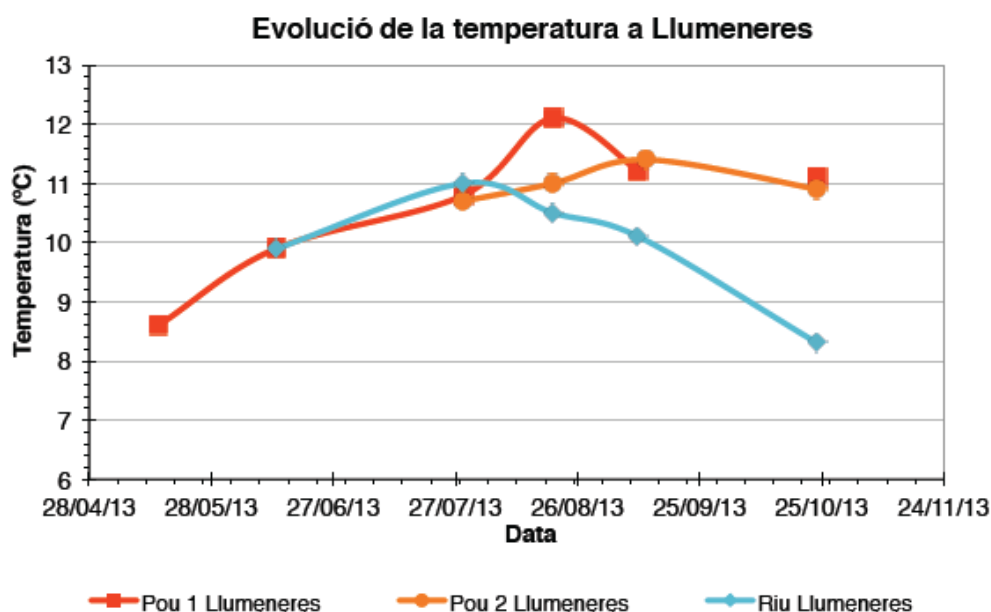


Figura 16. Evolució de la temperatura dels pous i del riu de Llumeneres.

En figura 17 es pot observar com les aigües dels pous de Llumeneres mantenen la seva temperatura més o menys constant al llarg del temps (mitjana de $10,8 \pm 0,9$ °C). Aquest tret d'estabilitat és típic de les aigües d'origen subterrani, les quals, a grans trets, haurien de presentar aproximadament el valor mitjà de la temperatura atmosfèrica en el sector en concret més el gradient altitudinal corresponent. Respecte a les aigües de la font de Certers ($8,3 \pm 0,2$ °C), també s'observa aquesta estabilitat al llarg del temps, tot i que amb una temperatura lleugerament inferior.

La temperatura mitjana per a l'any 2013 a l'estació d'Engolasters de FEDA és de $7,9 \pm 6,9$ °C.

El riu de Llumeneres segueix una tendència força estable (mitjana de 10 ± 1 °C), tot i tractar-se d'aigües superficials que haurien de reflectir les condicions ambientals del moment. Aquest fet només es veu clarament a la darrera mesura de l'octubre, això pot indicar que el riu de Llumeneres té una forta influència d'aigües subterrànies, sobretot durant el període estival.

A la font de Certers, s'han mesurat valors que oscil·len entre els 8 °C i 8,5 °C, i un valor mitjà de $8,3 \pm 0,2$ °C. Aquest paràmetre es manté força constant al llarg de l'any. En quant a la resta d'aigües del sector Nagol, recollides el 12 – 13 de juny de 2013, només es disposa d'una mesura per punt i no es pot establir una tendència de les mateixes. No obstant, s'observa clarament com tenen una influència de la temperatura atmosfèrica important en la majoria dels casos.

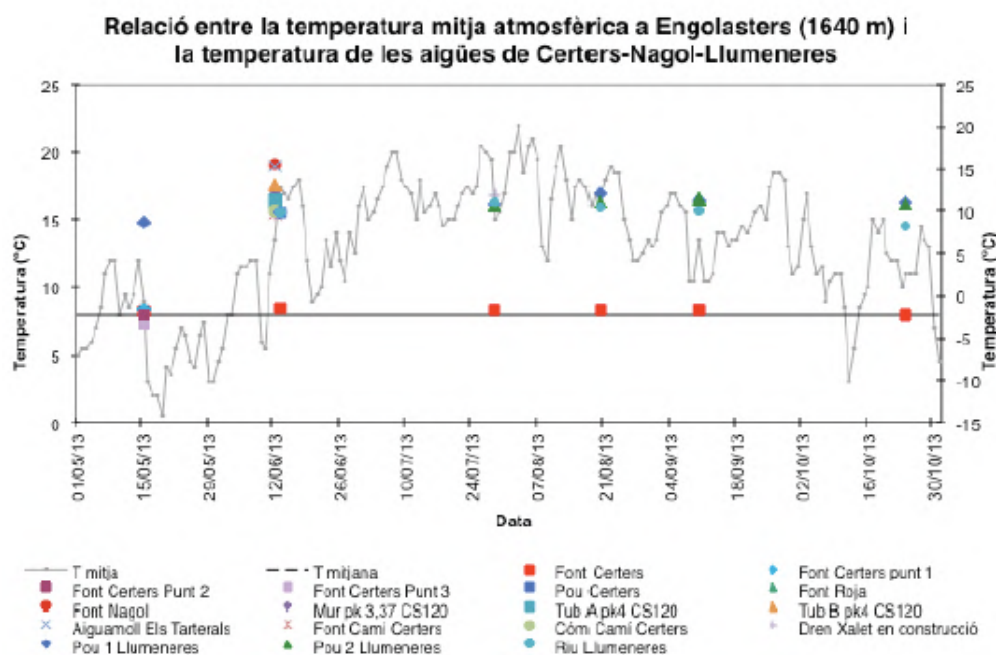


Figura 17. Relació entre la temperatura puntual de les aigües mostrejades al sector Llumeneres-Certers amb la temperatura mitjana diària de l'any 2013 a l'estació d'Engolasters de FEDA (cota 1640). Aquest cop s'han afegit dades de temperatura de mostres d'aigua recollides al mateix espai de temps a la Xarxa de Nagol, per a una millor comparació del caràcter de les aigües.

4.3. Caracterització química

Com ja s'ha comentat en anterioritat, no es disposa d'una anàlisi completa de cations i anions, per a la realització d'una caracterització de les aigües des d'un punt de vista de la seva composició química, no obstant es pot realitzar una aproximació basada amb les propietats dels materials de l'aqüífer.

Anteriorment a aquest apartat s'ha establert que les aigües dels pous son de baixa mineralització amb un pH neutre amb tendència alcalina, indicant la relació de les aigües subterrànies amb les pissarres del Silurià i de la quarsita de la formació Bar (Devonià).

Hidric-Euroconsult (2005) classifica les aigües subterrànies relacionades amb materials del Devonià (Quarsita de Bar), com a:

- Aigües bicarbonatades càlciques, dominades per una litologia de series gresopleitiques del Cambro-Ordovicià, encara que també s'hi inclouen les aigües que drenen del conjunt de calcaries i pissarres del Devonià.

i les aigües subterrànies relacionades amb materials del Silurià (pissarres) com a :

- Aigües bicarbonatades-sulfatades càlciques, de conductivitats entre 50 i 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Es tracta d'aigües bicarbonatades càlciques que han estat amb contacte amb aigües de lixiviació amb presència de sulfurs.

Tenint en compte les classificacions de hirdic-euroconsult (2005), que els materials involucrats en aquífers fissurats (com es el cas de l'aqüífer d'aquest estudi), son pissarres negres i series gresopleitiques, i que durant la ultima etapa de diagènesis de les pissarres del Silurià, va ocórrer una precipitació de minerals sulfatats (Hídric-Euroconsult, 2005), es pot classificar les aigües del pous de Llumeneres, com aigües bicarbonatades-sulfatades càlciques.

4.4 Anàlisi Isotòpica

En el present capítol es presenten els resultats obtinguts de l'anàlisi isotòpica (^2H , ^{18}O). L'objectiu d'aquest anàlisi és determinar la zona de recàrrega de les aigües de les captacions d'aquesta zona, per això la interpretació s'ha fet conjuntament entre les dades del present informe (dels pous de Llumeneres) i les dades de la font de Certers. En el document de l'**annex (A6)** es donen a conèixer els diferents tipus de traçadors més usats en el camp de la hidrogeologia i les seves aplicacions, així com els resultats dels isòtops mesurats.

4.4.1 Deuteri i Oxigen-18

El contingut isotòpic en deuteri (^2H o D) i oxigen-18 (^{18}O) de les aigües ens permet determinar el possible origen de les aigües (incloent l'estimació de la cota de recàrrega) i les relacions existents entre les diferents aigües del sector. En aquest cas, s'han recollit un total de 4 mostres d'aigua, corresponents a les captacions de la Font de Certers i dels pous de Llumeneres, per a dos períodes de temps diferents (al juny i setembre). Aquestes s'enviaren el 13 de juny i el 10 de setembre del 2013 al laboratori del Servei Científic-Tècnic de la Universitat de Barcelona.

Segons el mapa d'isolínies del $\delta^{18}\text{O}$ representat pel sector del Pirineu (Fig.18), extret d'Arce et al. 2001, el sector d'Andorra presenta un valor d'entre -11 ‰ i -9 ‰. Com al Pirineu Central es tracta d'aigües més lleugeres que a la zona del Prepirineu i costa cantàbrica i mediterrània, responen a la variació amb alçada.

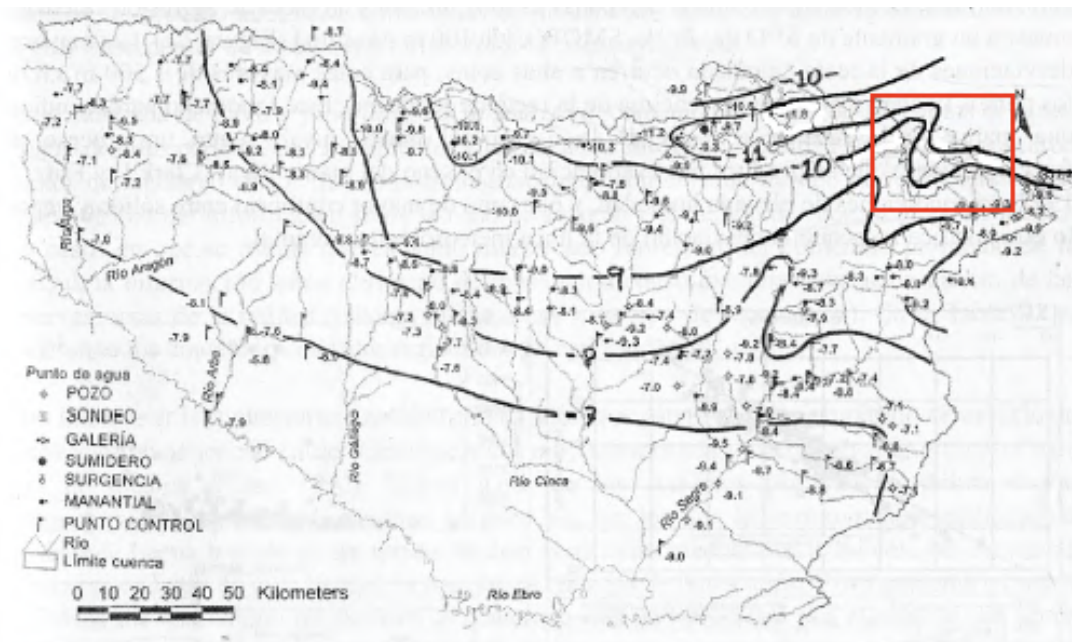


Figura 18. Situació de punts d'aigua amb el contingut de $\delta^{18}\text{O}$ de la primera campanya i traçat de $\delta^{18}\text{O}$ a partir dels manantials més representatius de la pluja local. Modificat de Arce et al., 2001.

Les aigües mostrejades en aquesta campanya de 2013 al sector de Certers-Llumeneres presenten un contingut isotòpic entre $-10,61\text{‰}$ / $-11,70\text{‰}$ de $\delta^{18}\text{O}$ i $-70,10\text{‰}$ / $-72,70\text{‰}$ de δD .

Per poder interpretar els resultats de les mostres, es representen els valors en un gràfic δD - $\delta^{18}\text{O}$, que reflecteix el fraccionament isotòpic relatiu dels dos isòtops presents en l'aigua (Fig.19). En aquest gràfic (modificat per Custodio i Llamas, 1996) també es representa la línia corresponent a les aigües meteoriques mundials, que obeeixen a l'equació $\delta\text{D}=8 \cdot \delta^{18}\text{O}+10$ (Craig, 1961).

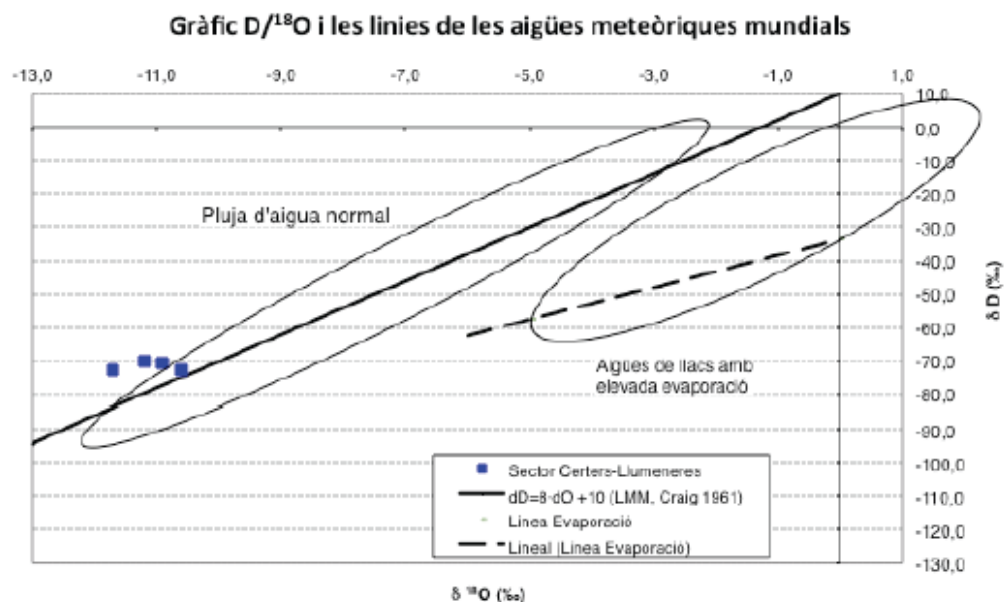


Figura 19. Gràfic δD vs $\delta^{18}\text{O}$ modificat per Custodio i Llamas(1996)

Com es pot veure en el diagrama tots els punts de mostreig cauen a l'esquerra de la línia meteòrica mundial, això indica que aquestes aigües no han patit cap procés d'evaporació.

D'altra banda, cal anotar que, el fet de que els punts es presentin per sobre de la línia de les aigües meteòriques mundials i no en la mateixa línia es deu a una característica de les precipitacions locals. Normalment valors superiors a 10 en el paràmetre d'excés de deuteri es produeixen en zones amb un elevat dèficit d'humitat. Els fronts procedents del mediterrani donen valors de δD entorn els -14 ‰, mentre que els fronts atlàntics donen valors entorn els -10 ‰.

En el cas del Principat, a partir de totes les mostres que IGEOTEST disposa, s'ha trobat una línia meteòrica local (Fig.20) que en línies generals és de $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 13,7$. Aquest valor estaria en concordança amb el fet que les valls d'Andorra, en general, presenten una influència mediterrània i tenen una humitat relativament baixa (Raso, 1999). Cal tenir en compte que a les precipitacions generades per masses nuvoloses que procedeixen del mar Mediterrani, la influència dels fronts atlàntics és negligible (CEDEX, 1995).

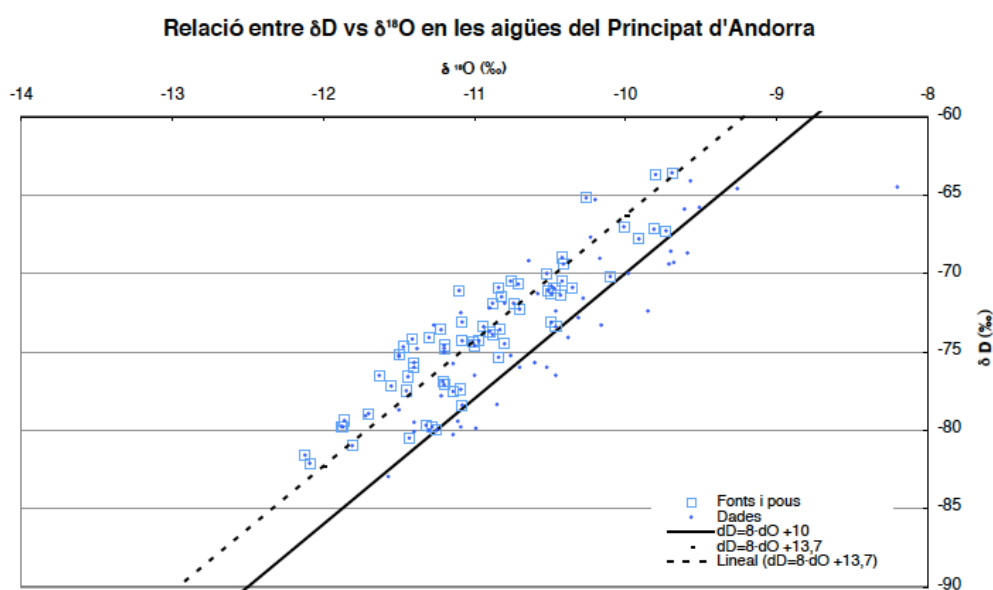


Figura 20. Relació entre δD vs $\delta^{18}O$ en les aigües del Principat d'Andorra

Com es pot veure, existeix una diferència notable entre les mostres preses al juny i les del setembre, (Fig. 21) aquesta diferència indica que el reservori d'aigua existent no deu ser molt gran ja que no existeix una homogeneïtzació de les dades i per tant la renovació de les aigües és relativament ràpida. D'altra banda, crida l'atenció que les mostres més negatives siguin les que es van agafar a l'estiu, ja que com més negativa és la mostra indica que s'ha recarregat a més alçada o en unes condicions de temperatures més baixes. Així doncs, les mostres del juny potser es podrien relacionar amb la fosa de les últimes nevades produïdes a la primavera (Fig.22).

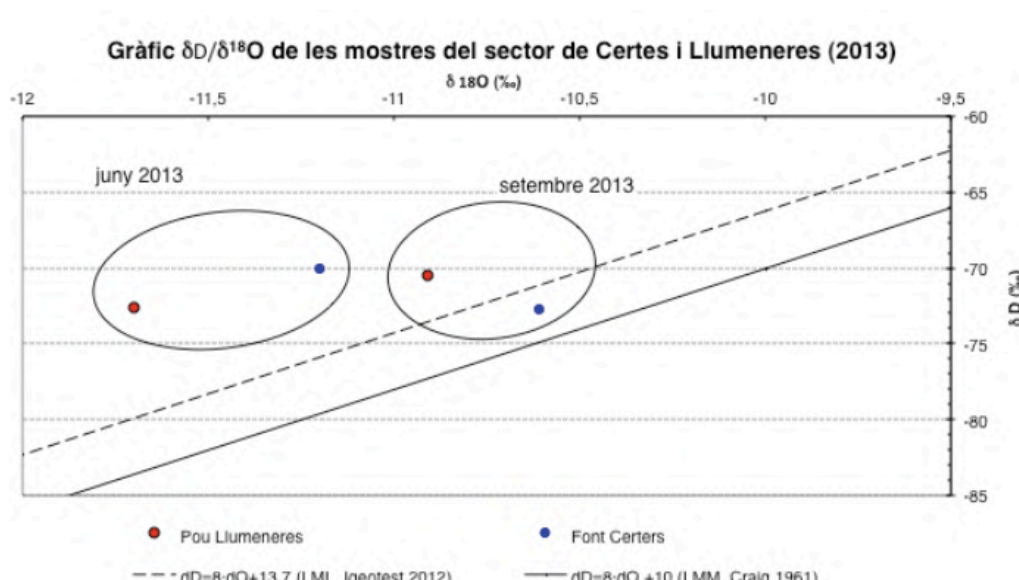


Figura 21. Representació dels resultats dels isòtops estables obtinguts en la recent campanya.

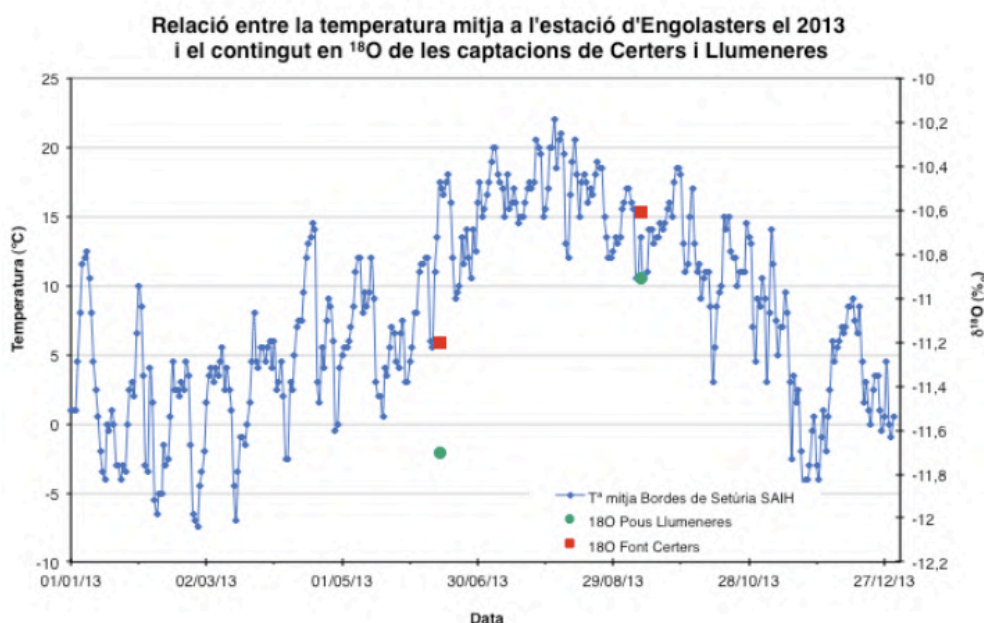


Figura 22. Relació entre la temperatura mitja a l'estació d'Engolasters i el contingut en $\delta^{18}O$ per a les captacions de Certes i Llueneres.

4.3.1.1 Cota de recàrrega

Amb les dades del $\delta^{18}O$ es pot arribar a obtenir la cota de recàrrega mitjana per a cadascuna de les mostres. Per tal d'establir la relació entre aquests dos paràmetres s'hauria de disposar dels valors d'isòtops de la precipitació durant un llarg període de temps (5-10 anys), ja que les precipitacions mitjans anuals no presenten valors idèntics en la seva composició isotòpica.

No obstant i a falta d'aquesta sèrie de dades es va calcular una recta de regressió entre el valor de $\delta^{18}O$ i la cota de recàrrega per al Principat d'Andorra (Fig.23), a partir de les dades que IGEOTEST disposa de diferents sectors del país. Concretament s'ha utilitzat les dades isotòpiques de fonts de les quals es coneix la seva cota de recàrrega, gràcies a diferents estudis hidrogeològics.

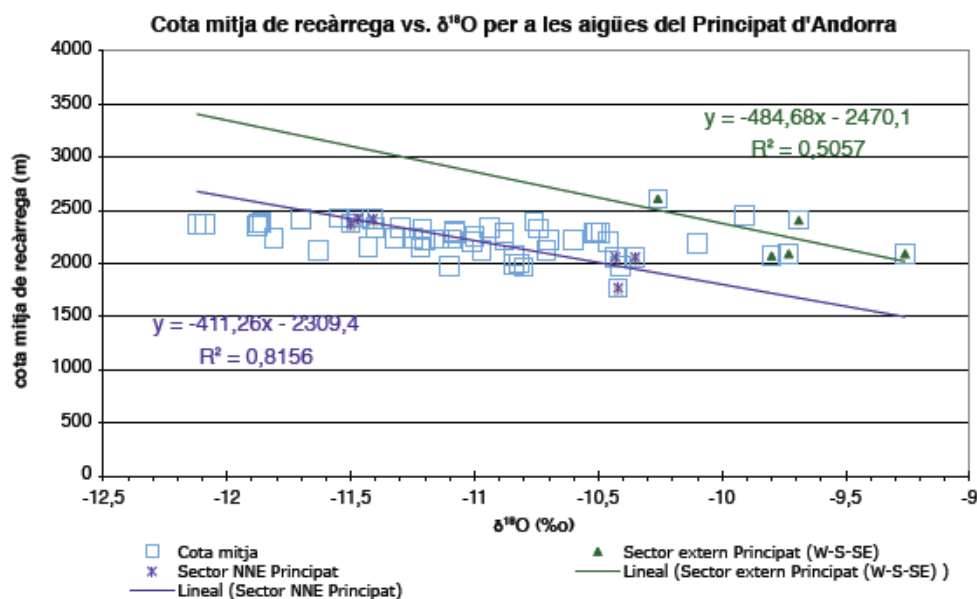


Figura 23. Cota mitja de recàrrega vs. $\delta^{18}\text{O}$ per a les aigües del principat d'Andorra

De l'anàlisi realitzada s'extreu que en el Principat existeix una gradació respecte als isòtops estables, que no permeten aplicar la mateixa recta de regressió en tot el territori, com a valors extrems s'ha deduït una recta que es aplicable al sector W-S-NE del Principat (gradient de -0,21 ‰ per cada 100 metres), i una altra corresponent al sector NNE, (gradient de -0,21 ‰ per cada 100 metres).

Aquest valor està en concordança amb la resta de valors trobats per a diferents estudis tal i com queda reflectit a l'annex (A6). El mapa de Arce et al. 2001, presentat anteriorment (Fig. 18) s'ha modificat en vista d'aquests resultats i com es pot veure existeix una particularitat que fa que les isolínies dels isòtops presentin un colze dins del Principat. Així doncs, pel cas del sector de Certers-Llumeneres s'hauria d'aplicar la recta corresponent al sector W-S-NE del Principat (Fig.24).

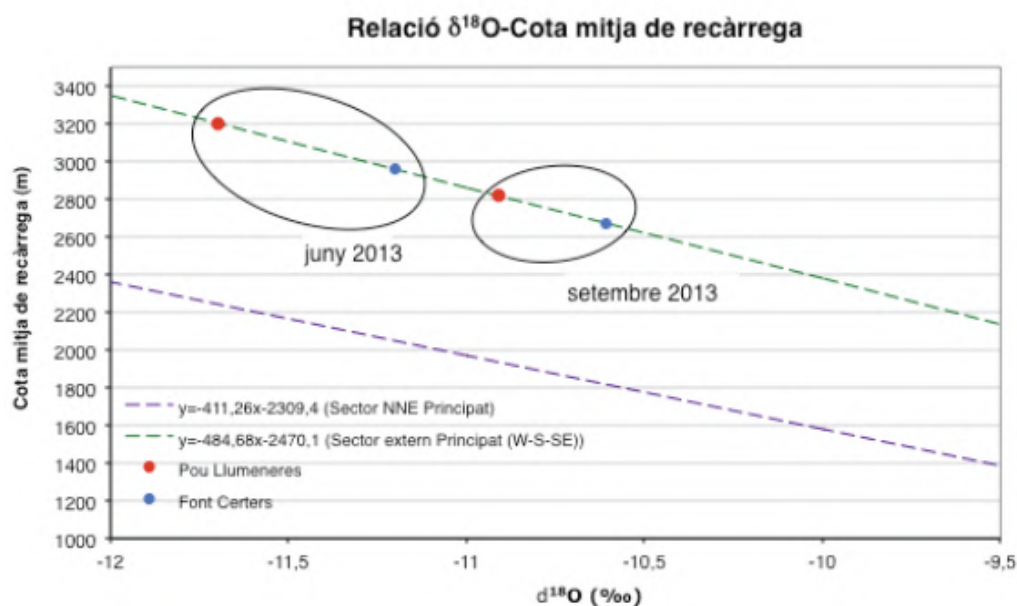


Figura 24. Representació dels resultats dels isòtops estables obtinguts en la recent campanya, adaptat per al sector W-W-NE del Principat d'Andorra

En la Taula 2 es veu com les cotes de recàrrega que s'obtidrien serien superiors a les cotes topogràfiques més altes que envolten la zona més propera a l'àrea d'estudi.

Taula 2. Resultats de l'anàlisi dels isòtops, mostrant la cota de recàrrega per a cada punt de mostreig.

Punt de mostreig	Cota font (m)	Data mostra	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Cota recàrrega mitja (m)
Font Certers	1400	13/06/13	-11,2	2958 \pm 250
Font Certers	1400	10/09/13	-10,61	2672 \pm 100
Pou Llumeneres	1317	13/06/13	-11,7	3201 \pm 100
Pou Llumeneres	1317	10/09/13	-10,91	2818 \pm 100

En aquest punt s'han de tenir en compte el següent:

- 1) Els valors obtinguts no es poden prendre com a valors absoluts, ja que s'ha de tenir en compte els errors analítics que acompanyen a les mesures i que són, en aquest cas, de l'ordre de $\pm 0,2$ - $0,5$ ‰ per al $\delta^{18}\text{O}$ i de $\pm 0,5$ - $1,5$ ‰ per al δD . S'admet que aquest error que es produeix en la determinació del $\delta^{18}\text{O}$ dona lloc a un error de càlcul de la cota de recàrrega de l'ordre de 40-50 metres per cada 0,1 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ d'error analític (Yehdegho & Reichl, 2002).
- 2) D'altra banda s'ha de tenir en compte el període estacional quan s'ha agafat la mostra, ja que com s'ha vist, està molt influenciada per l'efecte de la temperatura. Com s'ha comentat anteriorment, les mostres recollides a l'estiu presenten un valor més negatiu del que haurien de presentar per l'època de recollida, possiblement degut a una influència de la neu. La repetició de les mostres 3 mesos després, amb la recollida de les mostres al setembre, fora de qualsevol influència de la neu donen uns valors isotòpics mes positius.

Tenint en compte aquest segon mostreig, la cota de recàrrega de les mostres preses al setembre indica que una cota entre 2700-2800 metres aproximadament per a la font de Certers i el pou de Llumeneres (cota aproximada de 1317 metres), si en aquests valors es té en compte a més a més l'error que es produeix en al determinació del $\delta^{18}\text{O}$, ens estarien donant cotes de recàrrega al voltant dels 2500-2600 metres, que precisament situarien la cota de recàrrega al sector del Camp de Claror.

Per tant les mostres preses al juny, i que presenten una clara influència de la neu, no s'han de tenir en compte a l'hora de determinar la cota de recàrrega, ja que la neu pateix un fraccionament isotòpic important donant uns valors molt negatius respecte al valor de $\delta^{18}\text{O}$, que pot emascarar la cota de recàrrega real, donant valors topogràfics més elevats altitudinalment parlant.

5. MODEL HIDROGEOLÒGIC PROPOSAT

5.1 Distribució i geometria dels nivells litològics amb significació hidrogeològica. Distribució espacial i interrelacions.

A partir de les diferents dades obtingudes ja sigui pels antecedents, la bibliografia, el quimisme o els isòtops, s'estima que la morfologia i distribució espacial de l'aquífer que alimenta als pous de Llumeneres està relacionada amb el Camp de la Claror com a àrea de recàrrega. La distribució de l'aigua té lloc a partir de tot un sistema de fractures preferencials que permeten la existència d'un aquífer fissurat sobre el substrat rocós.

La distribució espacial i/o límits hidrogeològics es tractaran al **capítol 5.5** d'aquest informe. Mentre que les possibles relacions es tractaran al **capítol 5.3** (piezometria) i **5.6** (zones de recàrrega)

5.2 Propietats hidràuliques

5.2.1 Assaig de bombeig i recuperació

El 29/07/2013 es va dur a terme un assaig de bombeig-recuperació als pous de Llumeneres amb l'objectiu de determinar els paràmetres hidrodinàmics de l'aquífer, com són la transmissivitat (T) i la permeabilitat (K). (el significat físic de aquest paràmetres hidràulics està explicat en l'**annex A8.1**).

La metodologia teòrica en règim variable amb recuperació, segons Villanueva & Iglesias (1984), consisteix en mesurar l'evolució dels nivells en el temps dins del pou, mentre es bombeja un cabal constant. La cadència de les mesures amb el temps s'hauria de repartir lo més uniformement possible en una escala logarítmica. Seguidament quan finalitza el bombeig es mesura l'ascens dels nivells amb una cadència anàloga a la realitzada durant el descens.

La interpretació de l'assaig de bombeig es pot fer a partir del mètode de Jacob per a aquífers confinats, sempre i quan les mesures dels nivells vs temps en una escala semilogarítmica s'alineen en una línia recta. Tenint en compte el pendent resultat i el cabal bombejat es poden treure els paràmetres hidràulics de l'aquífer captat (Transmissivitat (T) i coeficient d'emmagatzematge (S)). S'ha de tenir en compte que el valor del coeficient d'emmagatzematge no es pot obtenir a partir de les dades del pou, ja que són mesures influenciades per les pèrdues de càrrega del propi pou.

D'altra banda, una vegada es finalitza l'assaig de bombeig, es mesura la recuperació de l'aquífer. Per tal d'interpretar-lo es pot fer servir la relació de Jacob, on gràficament es representen en ordenades els descensos residuals i en abscisses el valor de $(t+t')/t'$. En aquest cas, i degut a la impossibilitat de mesurar els nivells directament al pou 2 de bombeig, es va optar per mesurar els nivells al pou 1, però el bombeig s'estava fent al pou 2. Dit d'una altra forma, el pou de bombeig va ser el pou 2, però les lectures es van fer al pou 1 que s'utilitzà, doncs, com a piezòmetre. Recordem que la distància entre els dos pous es de 11 metres. La lectura dels nivells (descens i ascens) s'han mesurat amb una sonda piezomètrica de 50 metres de llarg amb un error de ± 1 cm.

5.2.1.1 Assaig de bombeig

El temps total de bombeig va ser de 120 minuts (2 hores). L'aigua bombada anava directament al dipòsit de Certers, per la qual cosa en l'assaig es descarta qualsevol influència d'aigua de retorn al medi. El cabal de l'assaig de bombeig era de 8038 l/h (2,23 l/s), segons el control del cabalímetre instal·lat al pou 2. El nivell piezomètric inicial al pou 1, (on s'han pres les lectures) es situa a -27,79m.

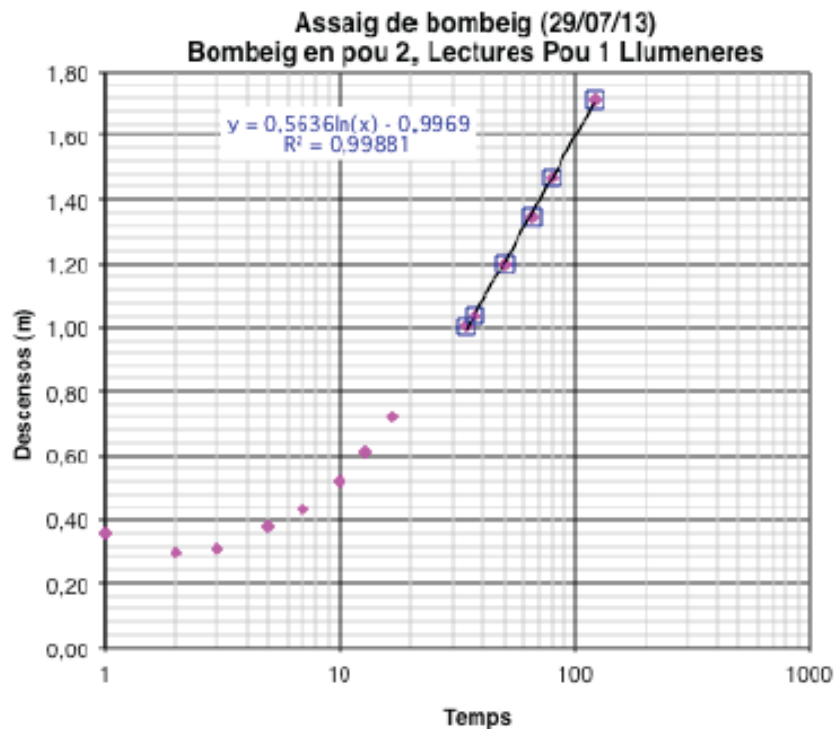


Figura 25. Interpretació de l'assaig de bombeig a partir del mètode de Jacob. Gràfic de descensos vs. Log temps (els primers valors es descarten ja que $u < 0,03$ i es deuen a les pròpies pèrdues de càrrega del pou) (metodologia explicada a l'annex A8.2).

De la recta ajustada es pot trobar el valor de T segons l'equació:

$$T = 0,183 \cdot (Q / \Delta d)$$

Així doncs, si $Q = 8038 \text{ l/h} = 192,9 \text{ m}^3/\text{dia}$ i $\Delta d = 1,30 \text{ m}$, llavors

$$T = 0,183 \cdot (Q / \Delta d) = 27,2 \text{ m}^2/\text{dia}$$

En tot cas, s'obté que la transmissivitat de l'aquífer és de $27,2 \text{ m}^2/\text{dia}$

Considerant que l'espessor saturat de l'aquífer a tenir en compte correspon al tram de roca donador d'aigua, és a dir del tram de roca fracturat, i segons les dades que es disposen de la columna litològica i comentaris posteriors, s'ha considerat que el tram més fracturat en el seu conjunt, es pot situar entre els 115 i 140 metres, per tant, el valor de b a considerar serà de 25 m. En aquest cas, la permeabilitat de l'aquífer tindria un valor de $1,1 \text{ m/dia}$.

$$\text{Si } b = 25 \text{ m, llavors } K = T/b = 1,1 \text{ m/dia}$$

Com les mesures s'han pres al pou 1, mentre que el pou de bombeig era el pou 2, estem en condicions de determinar el coeficient d'emmagatzematge de l'aquífer. Aquest valor, s'extreu segons la relació:

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

On: T = Transmissivitat (m^2/dia)

t_0 = valor on la recta ajustada de Jacob talla a l'eix d'abscisses (min)

r = distància entre el pou i el piezòmetre (m)

En aquest cas, la transmissivitat obtinguda és de $27,2 \text{ m}^2/\text{dia}$, el temps t_0 és de 5,86 min, i la distància és d'11m. Amb aquestes dades s'obté que el coeficient d'emmagatzematge per l'aquífer és de 0,002.

5.2.1.2 Assaig de recuperació

Una vegada finalitzat l'assaig de bombeig es va dur a terme l'assaig de recuperació del pou 1. En aquest cas, el cabal mig total de l'assaig de bombeig s'ha considerat que és de 8038 l/h, el temps de bombeig total és de 120 minuts i el temps total de l'assaig de recuperació és de 44 minuts.

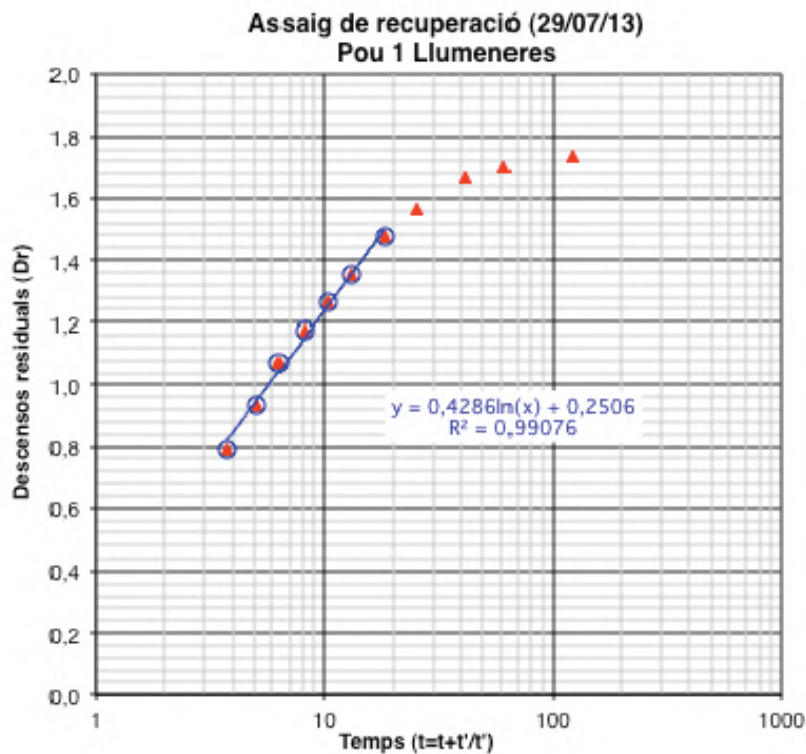


Figura 26. Interpretació de l'assaig de bombeig a partir de la relació de Jacob, on gràficament es representen en ordenades els descensos residuals i en abscisses el valor de $(t+t')/t'$.

Ajustant una recta als darrers punts de la corba obtenim els següents resultats:

$$\text{Si } Q=8038 \text{ l/h} = 192,9 \text{ m}^3/\text{dia} \text{ i } \Delta d=0,99\text{m, llavors}$$

$$T=0,183 \cdot (Q/\Delta d) = 35,8 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Tenint en compte les mateixes consideracions que per l'assaig de bombeig, és a dir, considerant un gruix saturat d'aquífer fracturat d'uns 25 m, s'obté que la permeabilitat del medi és de 1,4 m/dia.

$$\text{Si } b=25\text{m, llavors } K=T/b=1,4 \text{ m/dia}$$

5.2.1.2.1 Discussió dels resultats

Taula 3. Quadre resum es presenten els resultats obtinguts a l'assaig de bombeig-recuperació realitzat.

Assaig 29/07/2013			Bombeig			Recuperació	
Pou	Nivell Inicial (m)	b(m)	T (m ² /d)	S (-)	K (m/d)	T (m ² /d)	K (m/d)
Pou 1 (bombeig a pou 2)	-27,295	25	27,2	0,002	1,1	35,8	1,4

Segons els resultats obtinguts, es pot donar com a paràmetres hidrodinàmics de l'aquífer una $T=30 \text{ m}^2/\text{dia}$, un $S=0,002$ i una $k=1,1 \text{ m/dia}$.

5.3 Variació piezomètrica

5.3.1 Variació del nivell freàtic i/o piezomètric

Segons les dades facilitades pel Comú de Sant Julià de Lòria no es disposa de cap informació sobre l'evolució dels nivells estàtics ni dinàmics dels pous de Llumeneres.

L'única dada que es disposa al respecte d'algun nivell és el que figura a la columna litològica de construcció del pou 2 (Fig.3), on a la columna es marca que el nivell estàtic a data 01/04/1992 es situava a 28 m (però no hi ha cap referència sobre la cota topogràfica respecte a la qual s'ha mesurat, tot i que és de suposar que s'ha fet respecte al nivell del camí). No obstant, durant el seguiment dut a terme s'ha pres mesura del nivell piezomètric dins dels pous amb l'ajuda d'una sonda piezomètrica de $50 \pm 0,01 \text{ m}$ de llargada.

S'observa com el nivell estàtic dels pous es situa entre els 25-28 m de fondària respecte al camí (taula A9a i A9b a l'**annex**). Així mateix existeix una petita diferència entre els nivells piezomètrics d'ambdós pous de l'ordre centimètric que potser pot estar relacionat amb la cota topogràfica real. La resta de lectures preses són lectures dinàmiques (Fig.27), aquesta situació reflexa la utilització dels pous aproximadament, segons la lectura del dia 15/05/13 els pous portaven més d'un mes sense bombejar, coincidint amb el màxim cabal de la font de Certers, que era suficient per cobrir la demanda d'aigua i no era necessària la utilització dels pous. Així doncs es veu com durant l'estiu, juliol-octubre, els pous sí han estat necessaris per a l'abastiment.

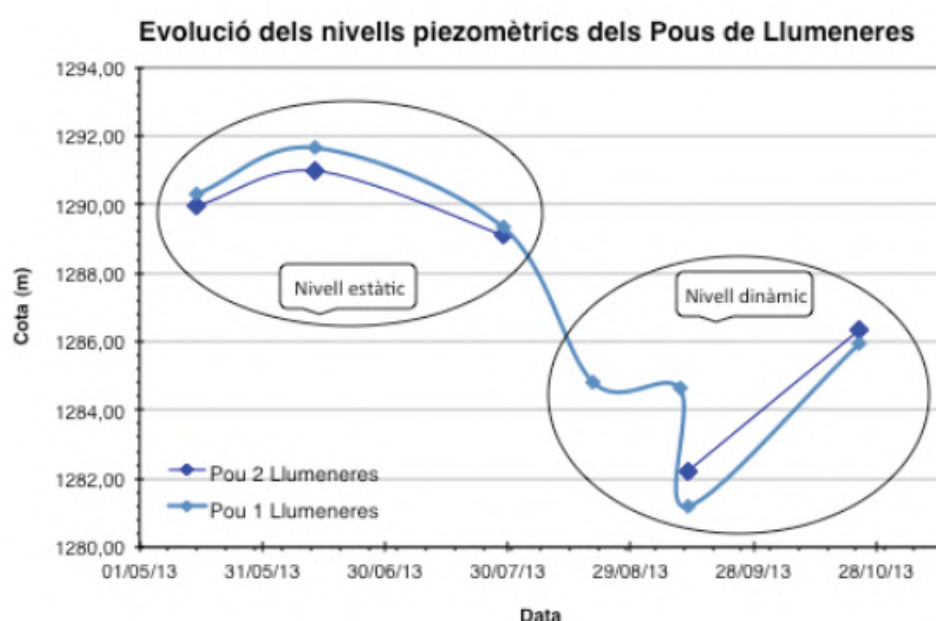


Figura 27. Evolució dels nivells piezomètrics dels pous de Llumeneres

5.4 Direcció del flux subterrani

L'establiment del flux subterrani implica la realització d'una piezometria potencial del sistema aquífer. Cal dir, però, que en aquest cas només es disposa d'un punt d'accés directe a l'aquífer que són precisament els pous de Llueneres. Tot i així, tenint en compte el coneixement que es disposa de la geologia de la zona (a partir de les cartografies geològiques i geomorfològiques) i sobre el quimisme de les aigües (possiblement relacionat també amb la Quarsita de Bar), s'ha portat a terme un mapa de la piezometria potencial de l'aquífer (Fig.28).

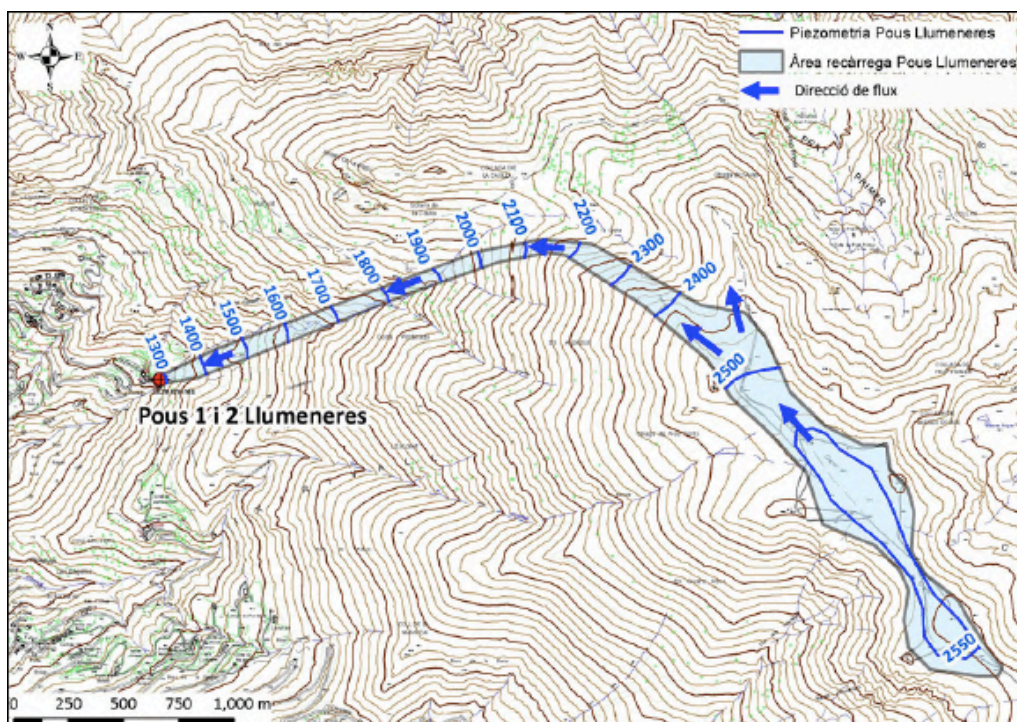


Figura 28. Mapa mostrant la piezometria potencial de l'aquífer (Elaboració pròpia), sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern, 1995)

Segons la piezometria en Fig.28 l'àrea de recàrrega es situaria al Camp de Claror. El flux de l'aigua aniria en direcció E-W de forma general, concretament des del Camp de Claror el flux segueix la morfologia del límit (falla) entre els materials del Silurià i la quarsita de Bar, primer en sentit SE a NW i en arribar al sector de la Collada de la Caül·la en el sentit NE-SW.

5.5 Límits hidrogeològics

Determinar amb exactitud els límits concrets de l'aquífer que capta els pous de Llueneres és complicat ja que en el seu funcionament, no solament intervé la capa aquífera que emmagatzema l'aigua que també s'ha de tenir en compte les diverses fractures i falles per les quals s'alimenta. No obstant, com a mínim l'aquífer quedaria limitat al nord pels materials del Silurià que actuarien com a capa impermeable. El límit sud estaria marcat pel límit entre la Quarsita de Bar i la formació Ansovell/Fm Estana. Les dimensions en planta de l'aquífer seria d'uns 4700m en el seu eix W-E, i entre 80 i 400 m en el seu eix N-S, amb un àrea total d'uns 0,74 km².

5.6 Zones de recàrrega

A partir de les dades anteriors podem dir que l'aquífer captat es tracta d'un aquífer fissurat confinat, constituït per Quarsita de Bar. La recàrrega de l'aquífer vindria per la infiltració directa de les precipitacions i de la fosa de la neu. La zona de recàrrega es situaria en el sector més planer del Camp de Claror a uns 2500 m d'alçada. Una explicació més detallada es veurà en conjunt en l'explicació del model hidrològic (**capítol 5.8**)

5.6.1 Balanç hídric

L'objectiu principal del càlcul del balanç hídric és, apart de tenir una idea global de la distribució de la distribució de l'aportació hídrica, poder quantificar la recarrega dels aquífers que queden confinats en la conca de recarrega estimada (veure següent capítol) , en aquests cas, directament relacionats amb l'excident hídric que s'infiltra/escola en superfície. Aquest balanç es calcula segons l'equació:

$$\text{Aportació hídrica} = \text{Sortida} + \text{Reserva}$$

Per tal de calcular el balanç hídric de la conca de recarrega de la captació, s'ha fet servir les dades extretes de l'informe **D-020-AG-017.04.04** (veure metodologia a l'annex de documentació **A10**) . En ell es calcula el balanç hídric mitjançant mètodes empírics (Thornwaite, Turc) , els quals es basen solament en paràmetres termoplumiomètrics.

5.6.1.1 Aportació hídrica

A partir de les dades dels registres termoplumiomètrics i segons l'anàlisi dut en l'informe **D-020-AG-017.04.04**, per a la conca de recàrrega dels pous de Llumeneres els valors de la temperatura atmosfèrica oscil·len entre -2.2 °C a les cotes més altes i 8,4 °C a les cotes més baixes (Fig.29). Respecte a les precipitacions en el cas de la conca estudiada els valors oscil·len entre els 902,2 mm (a les cotes altes) i els 813,7 mm a les cotes més baixes (Fig.30).

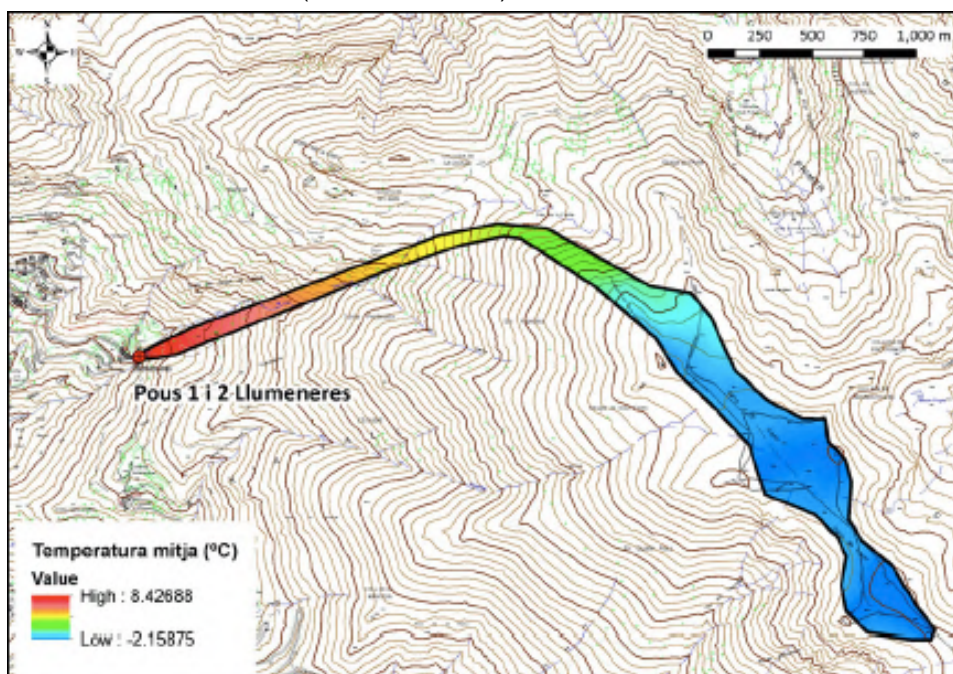


Figura 29. Mapa representant la temperatura atmosfèrica mitja (°C) per a la conca de recàrrega. Elaboració pròpia, sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995).

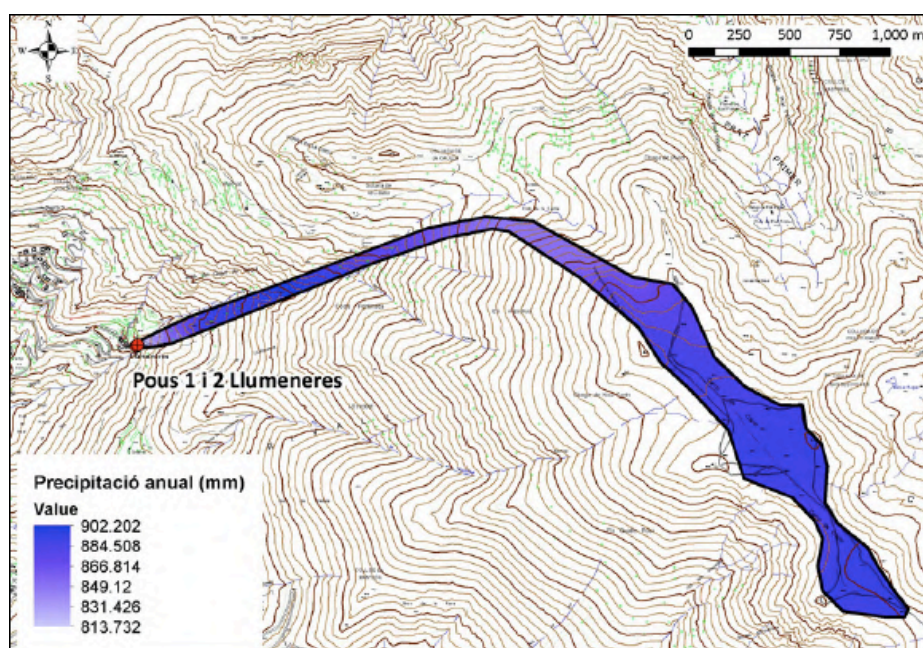


Figura 30. Mapa representant la precipitació anual (mm) per a la conca de recàrrega. Elaboració pròpia, sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995).

A partir de les dades abans exposades, s'ha calculat la precipitació total dins de la conca de recàrrega que alimentaria a la captació, així doncs per una àrea de $0,74\text{km}^2$, la precipitació total és de 0.655Hm^3 . S'estima que un 82% de les precipitacions anuals a Engolasters i a Ransol són en forma líquida, mentre que a l'estació Central de FEDA són del 92%, la resta és en forma de neu (Ponsa i Planas , 2001). Al contingut de neu estimat segons aquesta relació, se li ha restat el 10% que s'estima que es sublima (Anderton, 2004). Així doncs, s'obté que els valors de la precipitació efectiva (suma de pluja més neu, tenint en compte la sublimació) oscil·len entre 804,8 i 885, 4 mm, essent la precipitació efectiva anuals dins la conca de $0,635\text{Hm}^3$ (Fig.31).

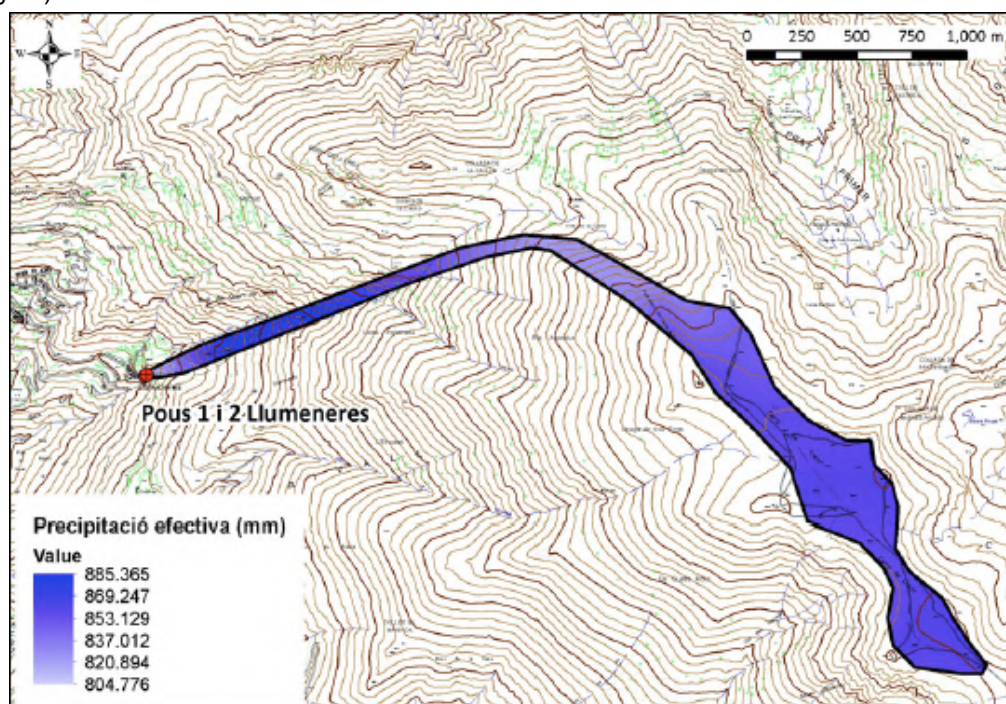


Figura 31. Mapa representant la precipitació efectiva (mm) per a la conca de recàrrega. (Elaboració pròpia, sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995)).

5.6.1.2 Càlcul de l'evapotranspiració

El càlcul del paràmetre “evapotranspiració” s’ha realitzat mitjançant dos mètodes (**annex A10.3**). Segons el mètode Thornthwaite, s’ha obtingut que els valors d’evapotranspiració potencial oscil·len entre els 333,9 mm en capçalera i els 577,7 mm al sector més baix (Fig.32). S’ha calculat que l’ETP (evapotranspiració potencial) per a l’àrea d’estudi és de 0,272 Hm³, el que representa un 42,8% de la precipitació efectiva total. Segons el mètode de Turc, s’ha obtingut que els valors oscil·len entre els 0mm en capçalera (degut a que les temperatures mitjanes són inferior a 0 °C) i els 544,9 mm a les parts més baixes (Fig. 33). S’ha calculat que l’ETR per a la conca d’estudi és de 0,069 Hm³, el que representa un 10,8% de la precipitació efectiva total.

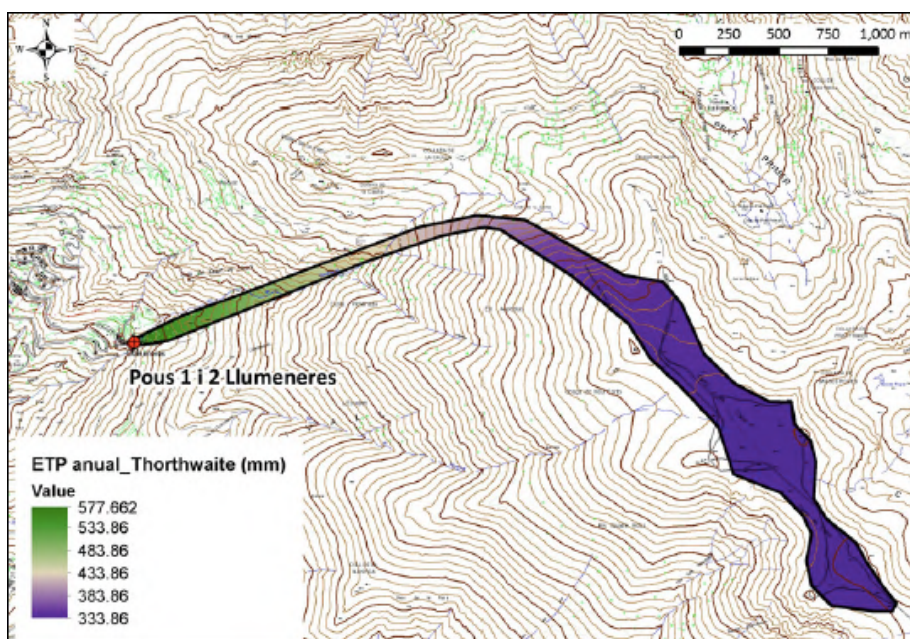


Figura 32. Mapa representant la ETP anual(mètode Thornthwaite (mm)) per a la conca de recàrrega. Elaboració pròpia, sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995).

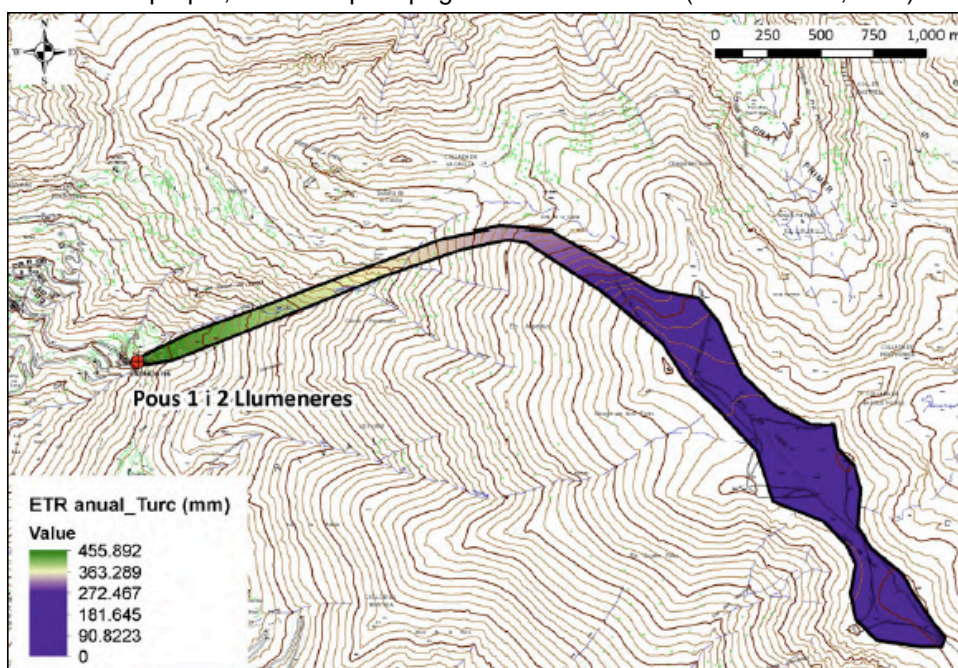


Figura 33.

Mapa representant la ETR anual, segons el mètode de Turc (mm) per a la conca de recàrrega. Elaboració pròpia, sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995).

5.6.1.3 Càlcul dels excedents

Els excedents o precipitació útil són el conjunt de l'aigua que no s'elimina per evapotranspiració, repartint-se entre l'escolament superficial i la infiltració. Segons Thornthwaite per a l'àrea d'estudi, els excedents es distribueixen entre les 236,1 mm al sector més baix i els 501,6 mm a la capçalera. Per tant els excedents calculats són de 0,247 Hm³, representant un 54,7% de la precipitació efectiva total (Fig.34). Segons Turc, els excedents es distribueixen entre els 348,9mm al sector més baix i els 859,8mm a la capçalera. Els excedents calculats són de 0,565 Hm³, el que representa un 89,1% de la precipitació efectiva total (Fig.35).

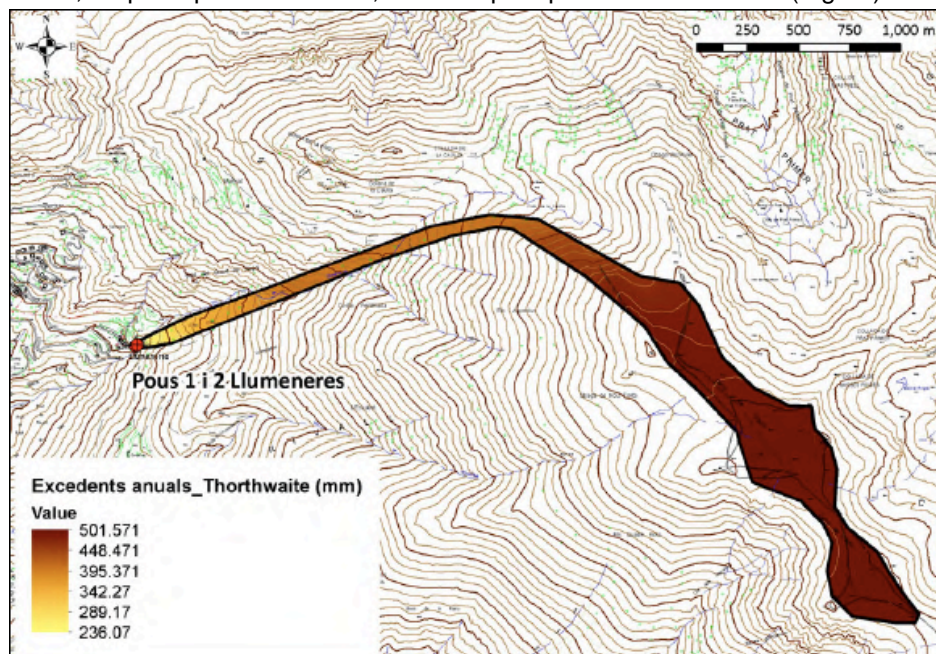


Figura 34. Mapa representant els excedents anuals,(metode Thornthwaite (mm)) per a la conca de recàrrega. Elaboració pròpia sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995).

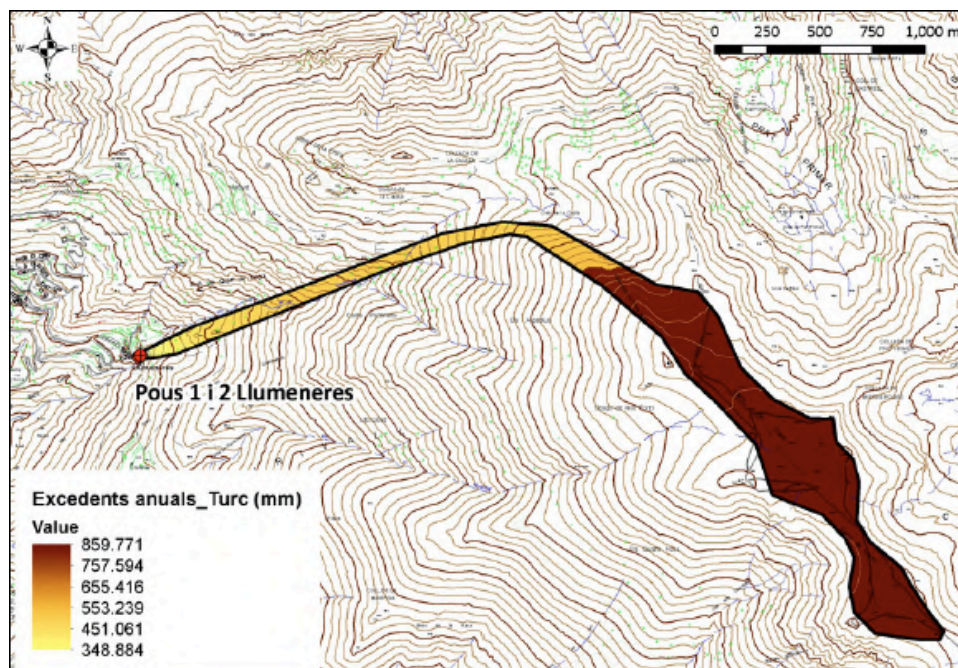


Figura 35. Mapa representant els excedents anuals, segons el mètode de Turc (mm) per a la conca de recàrrega. Elaboració pròpia, sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995).

5.6.1.4 Resultats

El balanç complet es distribueix de la següent manera:

L'aportació total anual (suma de pluja i neu) de la conca considerada s'ha calculat en 0,655 Hm³ dels quals només 0,635 hm³ són pluja efectiva. Sobre la pluja total s'ha calculat que 0,207 Hm³ (31,6%) cau en forma de neu (de la qual el 10% es sublima) i la resta, 0,448 Hm³ (68,4%) cau en forma de pluja (Fig.36) .

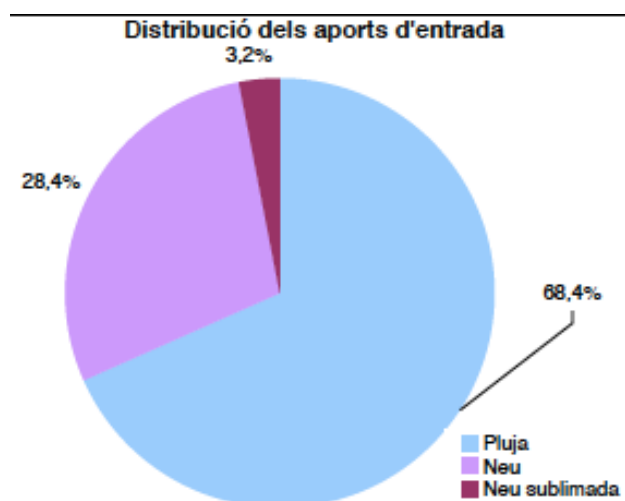


Figura 36. Distribució dels aportats d'entrada

Taula 4. Recull de les dades de sortides totals de la conca, mitjançant dos mètodes empírics basats en paràmetres termopluviomètrics.

	P Efectiva	Thornthwaite		Turc	
		ETP	Excedents	ETR	Excedents
Hm ³	0,635	0,272	0,347	0,069	0,565
%	100	42,8	54,7	10,8	89,1
Conca	0,74 km ²				

Si es fa una comparació entre els dos mètodes, respecte al terme de l'evapotranspiració, s'obté que a les parts més baixes de la conca (al voltant de la captació) amb el mètode de Turc s'estimen valors al voltant dels 455,9mm, mentre que pel mètode de Thornthwaite els valors són de 577,7 mm. A la capçalera, amb el mètode de Turc s'obtenen valors de 0 mm mentre que amb Thornthwaite s'obté valors de 333,9 mm. La diferència entre ambdós mètodes és superior en les zones de capçalera, degut sobretot a què amb el mètode de Turc s'estima que per a valors inferiors als 0°C de temperatura mitjana l'evapotranspiració és pràcticament nul·la. Un altre factor a tenir en compte és que s'està comparant ETR amb ETP, essent l'ETP superior a la ETR, pel fet que les precipitacions no poden aportar tota la demanda d'aigua de l'ETP. Així doncs, el mètode de Turc fa una estimació més real de l'evapotranspiració.

Per estimar l'ETR segons Thornthwaite caldria tenir en compte, a més de l'aportació de precipitacions, l'aportació de la reserva del sòl. La reserva del sòl no es coneix, pel que no s'ha tingut en compte. Per tant el mètode de Turc proporciona un valor més significatiu dels excedents (escolament superficial i infiltració).

Així doncs, aquestes dades ens donen una idea aproximada del que passa, però en cap cas s'han d'agafar com a dades absolutes.

5.7 Explotació i descàrrega

La descàrrega de l'aqüífer ve donada principalment pel bombeig dels pous de Llumeneres. Respecte al règim d'explotació dels pous, cal dir que l'aigua bombejada s'emmagatzema al dipòsit de Certers. Al dipòsit entra directament l'aigua captada a la font de Certers, i en funció de la demanda d'aigua, es posen en marxa els pous de Llumeneres de manera alternativa. Així doncs, durant la fosa de neu, quan el cabal de la font de Certers és alt, els pous no es posen en marxa, ja que el cabal de la font supeix la demanda de la xarxa.

Segons les dades facilitades pel Servei d'aigua del Comú de Sant Julià de Lòria, al dipòsit de Certers hi ha un cabal d'entrada aproximat de 115 m³/dia (font Certers + pous Llumeneres), i el cabal de sortida del dipòsit és del mateix ordre, uns 115 m³/dia durant l'època de més demanda. El dipòsit abasteix un total de 129 habitants, on es calcula que la demanda de la població és d'uns 200 l/persona/dia. És a dir, que la demanda bàsica seria d'uns 25,8 m³/dia.

5.8 Model hidrogeològic

Amb totes aquestes dades abans exposades el model hidrogeològic proposat consisteix en definir l'aqüífer com de tipus fissurat. La recàrrega del sistema es produeix principalment a partir dels aportaments hídrics procedents de les pluges i la fosa de neu, els quals s'infiltra en el sistema a través de les fractures i falles existents i del regolit del Camp de Claror (segons dades extretes del quimisme de les aigües), i que porten l'aigua cap al nivell aquífer d'emmagatzematge.

A la figura 37, es pot observar el tall, on es van realitzar 3 SEVs (sondatge elèctric vertical), el que va permetre determinar que el gruix de regolit en aquest sector podria arribar als 60 metres de gruix. Aquest tipus de material actua com una esponja, facilitant la infiltració de l'aigua de les precipitacions, permetent un emmagatzemament temporal. La direcció de flux es mostra a la figura 38.

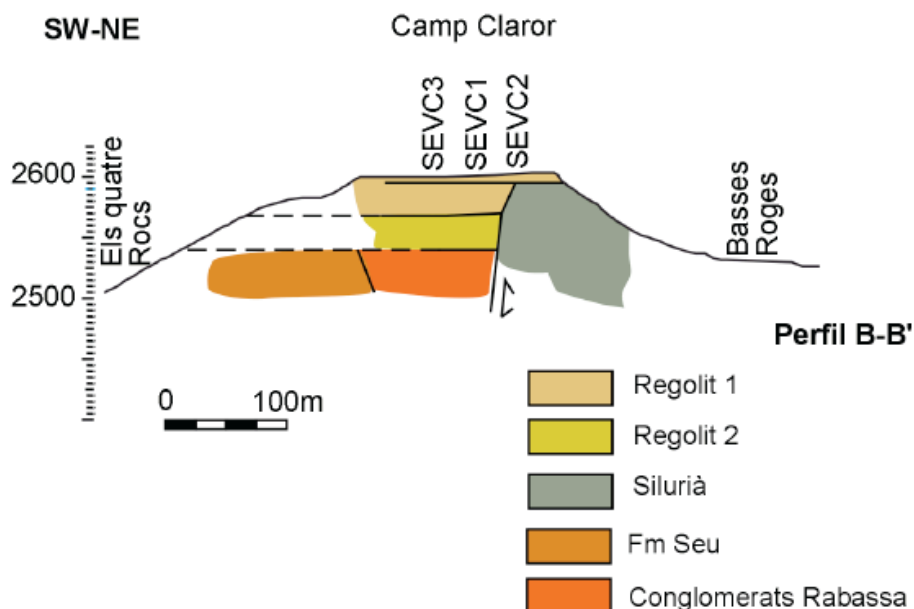


Figura 37. Tall geològic del Camp de la Claror (extret de l'informe D-010-ACSJ-036.11.08 IGEOEST)

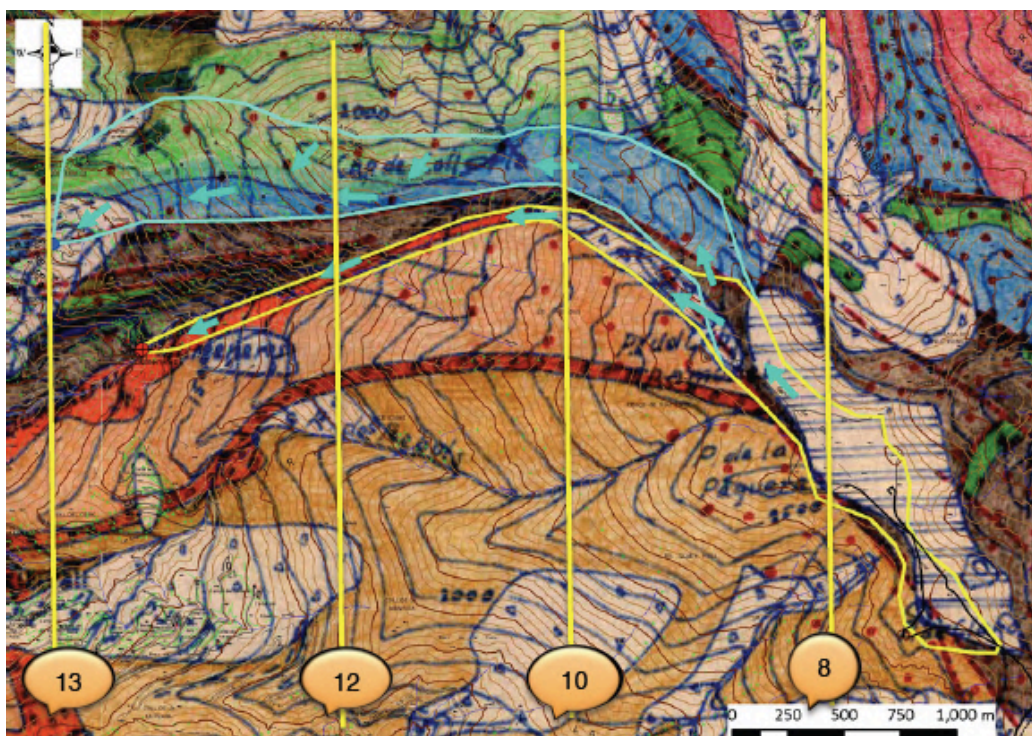


Figura 38. Mapa geològic, i flux de l'aigua des del sector del Camp de la Claror, mostrant la direcció de flux de l'aigua des de l'àrea de recàrrega. Encerclat en groc es mostra el flux d'aigua que arriba als pous de Llumeneres, mentre la zona encerclada en línies blaves mostra l'aigua que arriba a la font de Certers. Les línies verticals grogues representen l'ubicació dels talls geològics extret de l'informe D-010-ACSJ-036.11.08 IGEOTEST (Fig. 39) (Elaboració pròpia, sobre mapa geològic escala 1:50000 de Hartevelt & Zwart, 1968)

Cal anotar que l'àrea del Camp de la Claror, a més d'actuar com a receptor de l'aigua, actua com a distribuïdor a través de les diferents litologies implicades. Com s'observa en figura 38, es veu com una part de l'aigua quedaria dirigida cap a les litologies calcàries (colors blaus i verds) que alimenten a la font de Certers, mentre que una altra part de l'aigua quedaria dirigida a través de la Quarsita de Bar (color vermell) cap al sector dels pous de Llumeneres. Així mateix no es descarta que part de l'aigua també es pugui distribuir cap als sectors de la Formació Seu, no obstant, aquesta relació no s'ha estudiat al present treball.

En el cas dels pous de Llumeneres, doncs, el model hidrogeològic consisteix en que l'aigua de les precipitacions s'infiltra al sector del Camp de Claror, i es canalitza a través de les diferents fractures, en aquest cas, utilitza la falla entre el Silurià i la Quarsita de Bar com a nivell de circulació preferencial. Aquest nivell es situa entre els 115-140 metres de fondària en els pous de Llumeneres.

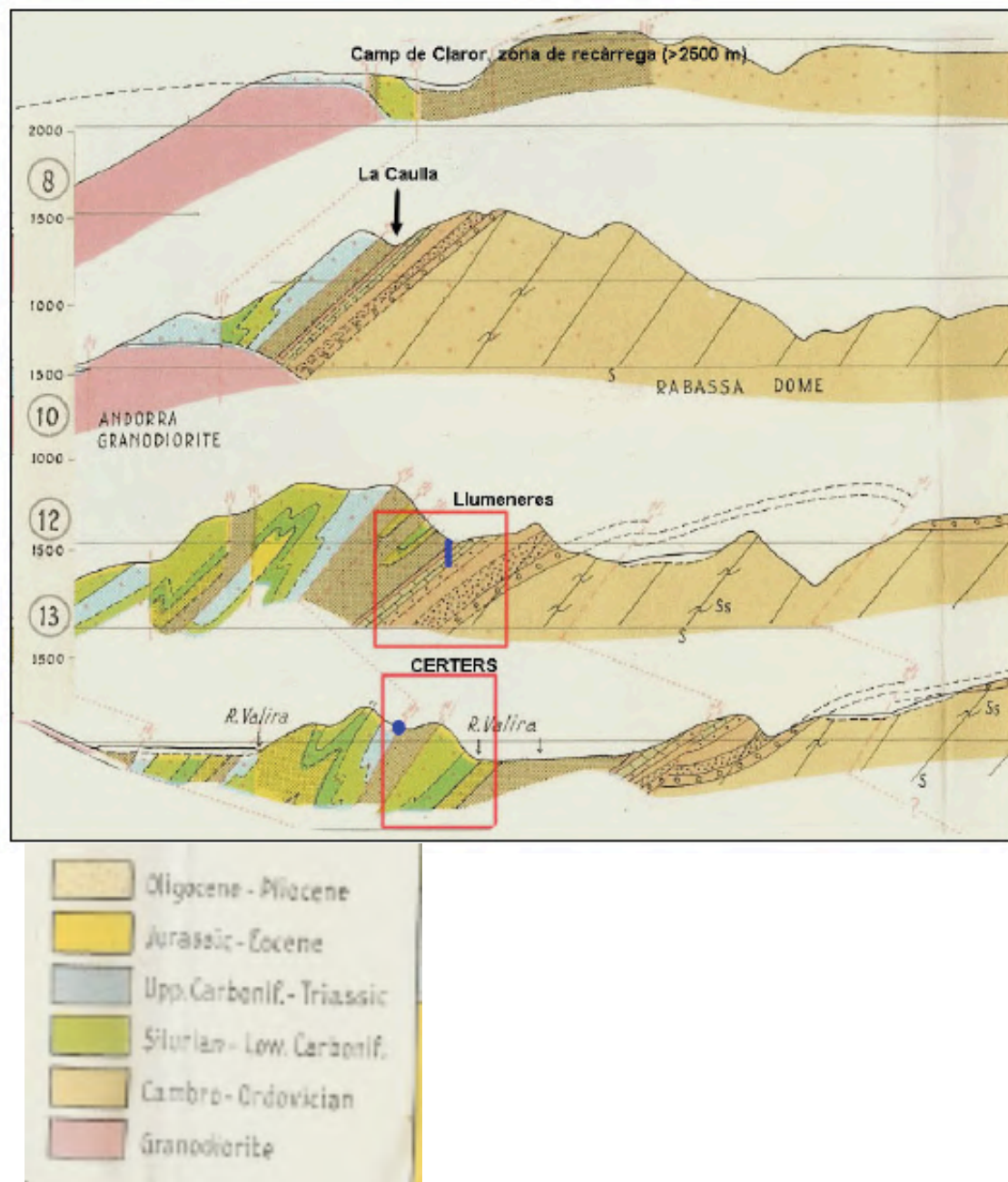


Figura 39. Tall geològic (extret de l'informe D-010-ACSJ-036.11.08 IGEOTEST)

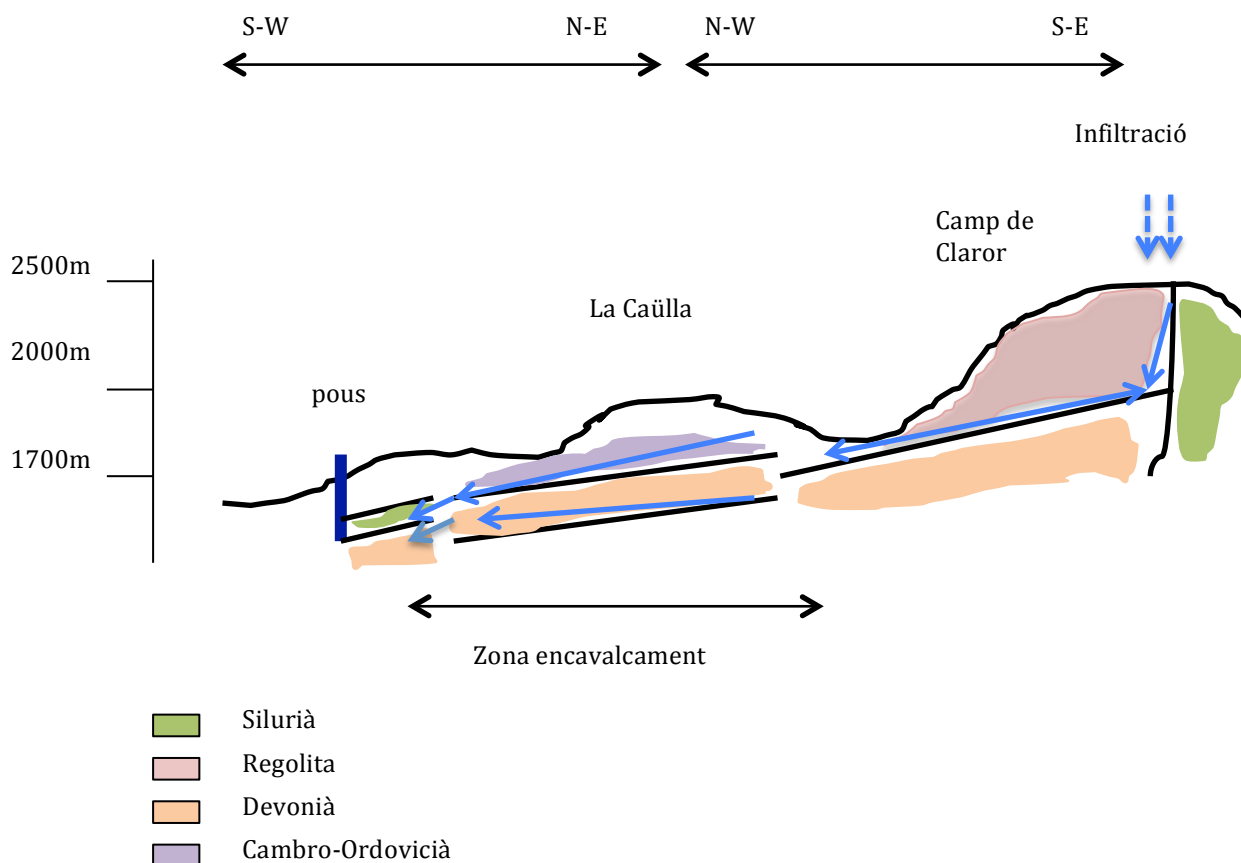


Figura 40. Perfil hidrogeològic mostrant la direcció de flux i litologies per on circula l'aigua de l'aquífer. (Elaboració pròpia)

6. ANÀLISI DEL RISC DE CONTAMINACIÓ I MESURES DE PROTECCIÓ PROPOSADES

6.1 Perímetres de protecció

La realització dels perímetres de protecció s'ha dut a terme amb les dades exposades en el present document, seguint criteris hidrogeològics, essent un primer model. En el moment que es disposi de noves fonts d'informació que afavoreixen el millor coneixement de la zona, els perímetres de protecció i el model hidrogeològic són susceptibles d'ésser modificats.

Segons el Reglament vigent del M.I. Govern (B.O.P.A. Núm. 88 - Any 19 -24.10.2007 del BOPA) en el seu article 7 escriu: 1. "Tota captació d'aigua destinada al subministrament per al consum humà, sigui d'origen superficial o subterrani, ha d'estar degudament protegida"; 2. " A aquest efecte, i en funció de l'àrea d'influència geogràfica que pugui tenir efectes sobre la qualitat de l'aigua captada, es defineixen tres perímetres de protecció: a) Perímetre immediat:...b) Perímetre pròxim...c) Perímetre llunyà..."

Així doncs, el disseny dels perímetres de protecció s'ha calculat a partir del mètode de Wyssling, però a més a més s'han tingut en compte altres criteris de tipus geològics i hidrogeològics.

Tal com s'explica a l'**annex (A.11)** en el mètode Wyssling es determina la velocitat efectiva del flux (V_e), l'ample de la zona de captura (B), el radi de captura (X_0) i l'amplitud del front de captura a l'alçada de la captació (B'), segons el cabal d'extracció. Una vegada s'ha calculat la zona de captura es determinen les isòcrones per a diferents temps de transit, que queden definides per les distàncies S_0 (distància aigües amunt en la direcció del flux) i S_u (distància aigües avall).

Taula 5. Dades prèvies per tal de calcular els perímetres de protecció

Paràmetre	Valor
b	Gruix saturat de l'aquífer (m)
K	Permeabilitat (m/dia)
I	Gradient hidràulic
Me	Porositat eficaç
Q	Cabal de bombeig (m^3 /dia)
T	Transmissivitat (m^2 /dia)

Per al gruix saturat s'han utilitzat els mateixos criteris presentats al **capítol 6.2**, per al càlcul de les propietats hidràuliques (permeabilitat i transmissivitat). És a dir, que s'ha tingut en compte 25 metres que representaria realment el gruix de fractures que determinarien la circulació de l'aigua (gruix saturat).

El cabal de bombeig que s'ha tingut en compte, és el corresponent al pou 1 que disposa d'una bomba més gran, d'uns $25 m^3/h$.

Pel gradient hidràulic, s'ha utilitzat el gradient obtingut de les isopiezes dibuixades en el mapa potencial de la piezometria que es presenta al **capítol 6.4**. Finalment el valor de la porositat eficaç s'ha tret de l'assaig de bombeig-recuperació realitzat als pous de Llumeneres, obtenint un coeficient d'emmagatzematge de 0,002.

Taula 6. Resultats del càlcul del gradient hidràulic

Paràmetre	Fórmula	Resultat	Unitats
B (amplada de la zona de captura)	$B=Q/(K*b*i)=Q/(T*i)$	46,8	m
X_0 (radi de la zona de captura)	$X_0=Q/(2*p*K*b*i)=Q/2*p*T*i$	7,5	m
B' (amplada del front de captura)	$B'=B/2=Q/(2*K*b*i)$	23,4	m
V_e (velocitat eficaç)	$V_e=K*i/me$	256	m/dia

Una vegada trobats aquests paràmetres es calculen les isòcrones. Hom ha calculat les distàncies S_0 i S_u per a isòcrones d'1, 10, 50 i 100 dies.

Taula 7. Valors resultants del càlcul de les isòcrones

Temps (dies)	$L=ve*t$ (m)	S_0 (m)	S_u (m)
1	256,2	270,3	14,1
10	2561,5	2576,3	14,8
50	12807,5	12822,4	14,9
100	25615,0	25629,9	14,9

Cal anotar que el mètode de Wyssling calcula la zona de crida o captura de la captació (hi ha descens piezomètric i el flux es dirigeix a la captació) o defineix posteriorment la distancia en la direcció del flux corresponent al temps de trànsit desitjat.

Com es pot extreure de les dades anteriors i es pot observar en figura 41 la zona de crida s'estén molt més enllà de la zona estimada com a àrea de recàrrega, de la mateixa manera les isòcrones s'allarguen molt, al seu eix segons la direcció del flux. En aquest punt, cal recordar que el mètode té unes limitacions d'aplicació que són que l'aquífer sigui homogeni en les proximitats de les captacions i que el gradient sigui uniforme, és a dir, s'aplica principalment a aquífers lliures amb una porositat intergranular i homogenis, i no té en compte les heterogeneïtats de l'aquífer.

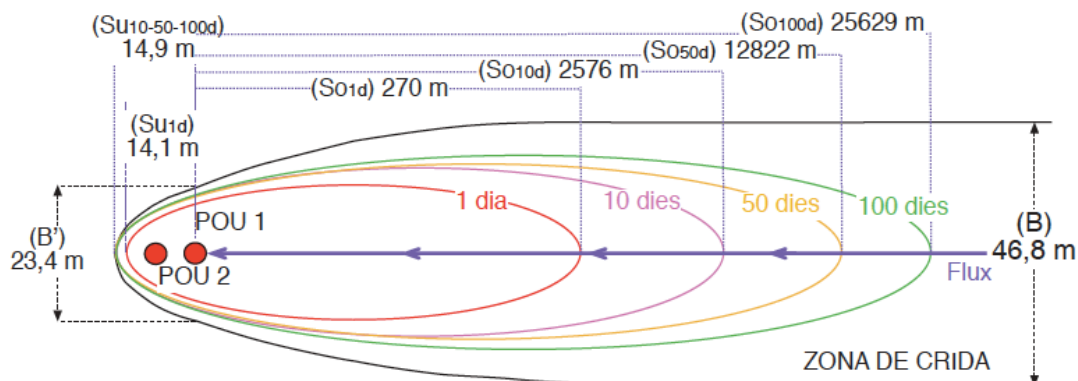


Figura 41. Mapa representant totes les dades obtingudes. El resultat és un perímetre molt estret i força allargat (Elaboració pròpia)

En el nostre cas es tracta d'un aquífer fissurat, que està connectat amb altres àrees de captura de l'aigua mitjançant fractures i falles. És per aquesta raó, que a part d'aquest mètode de Wyssling es tindran en compte altres criteris de tipus hidrogeològic, per acabar d'acotar la geometria dels perímetres de protecció. No obstant, aquests perímetres segons Wyssling ens ajuden a definir el tipus de perímetre, allargat en direcció W-E i estret en la direcció N-S.

La manca de més dades i la generalització de les que es disposen fan que el model de perímetres proposat sigui orientatiu, tal i com es comenta a l'**apartat 8** d'aquest informe.

6.1.1 Perímetre de protecció immediat

Segons el reglament vigent (BOPA Núm. 88-Any 19 -24.10.2007), el perímetre de protecció immediat es defineix com: "...és el perímetre físic més proper als punts de surgència de l'aigua i que, a partir d'un estudi hidrogeològic, té com a funció protegir les captacions i les seves instal·lacions de tota degradació física, així com evitar que es puguin abocar o infiltrar substàncies contaminants a l'aigua captada. Es defineix en base als resultats de la projecció sobre el terreny de la isòcrona de 24 hores en règim d'explotació. Aquest perímetre s'ha de delimitar per mitjà d'un tancament físic. En cas de les captacions superficials, aquest perímetre ha de ser suficientment efectiu per a protegir convenientment el punt físic concret on es dugui a terme la captació efectiva de l'aigua. Aquest tancament físic, pot ser estacional en aquells indrets on degut a les condicions geomorfològiques o climatològiques en pugui perillar la seva integritat..."

Segons el mètode de Wyssling, i tenint en compte un cabal màxim de 25 m³/h, la isòcrona per a 24 hores es defineix seguint la distància, en el sentit del flux, de 270 metres aigües amunt dels pous i de 14,1 metres aigües avall del mateix (Fig.42). En la mesura que el cabal és inferior, el perímetre també es reduiria.

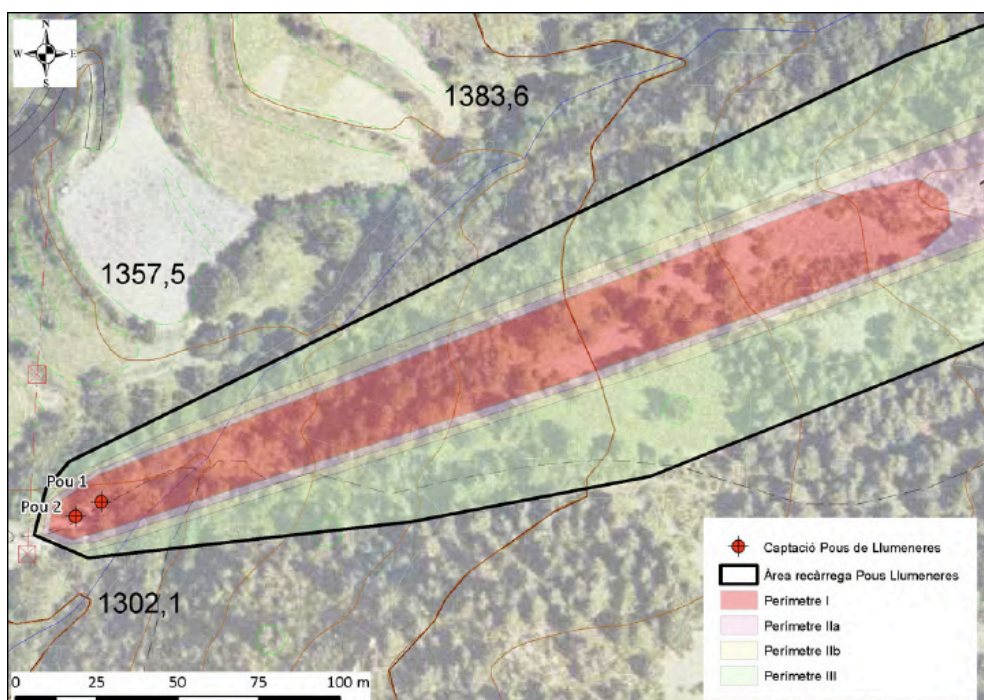


Figura 42. Perímetre immediat dels pous de Llueneres (en vermell isòcrona per 24 hores) (Elaboració pròpia sobre ortofoto (M.I. Govern 2003) i mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995))

Actualment els pous no disposen de cap tanca física. No obstant , però cal dir, que se situen al mig del GR7 i a 1'9 i 1,15 m de fondària respecte al nivell del camí, quedant protegits per unes arquetes de ferro que impedeixen l'accés als mateixos.

Per tant, es veu com existeixen unes restriccions per a la col·locació de la tanca, per una banda que es situen al mig del camí GR7, el qual no es pot tancar l'accés, i d'altra que els terrenys adjacents són de propietat privada. Es considera, doncs, que les mesures actuals de protecció són suficients per garantir al integritat de la captació.

6.1.2 Perímetre de protecció pròxim

Segons el reglament vigent (BOPA Núm. 88-Any 19 -24.10.2007), el perímetre de protecció pròxim es defineix com: "...és el perímetre que s'ha d'establir al voltant del perímetre immediat i que, a partir d'un estudi hidrogeològic, té com a objectiu determinar la zona geogràfica des de la qual es pot veure afectada la qualitat de l'aigua captada per qualsevol contaminació d'origen biòtic. Es defineix en base als resultats de la projecció sobre el terreny de la isòcrona de 50 dies".

Segons el mètode de Wyssling, per a un cabal màxim de 25 m³/h, la isòcrona de 50 dies (perímetre IIb) es remuntaria a 12,8 km aigües amunt de la captació i 14,9 metres aigües avall, és a dir, que aniria més enllà que l'àrea de recàrrega considerada. I la isòcrona de 10 dies (perímetre IIa) es remuntaria 2,5 km aigües amunt de la captació i 14,8 metres aigües avall. No obstant, com s'ha comentat anteriorment, aquest mètode està pensat per aplicar-lo a medis homogenis i isotrops, per tant, a més d'aquests resultats s'han de considerar altres criteris hidrogeològics per aproximar-ho més a la realitat.

En aquest sentit, ja que en tractar-se d'un medi fissurat, es considera que l'aigua segueix un camí preferencial a través de fractures de major i menor entitat, com per exemple la falla que limita l'aquífer pel nord entre els materials de Silurià i els materials quarzífics de la Quarsita de Bar. Es considera que els contaminants no passen directament per cap filtre natural i la contaminació arribaria més ràpid a la captació, per aquest motiu s'ha fet arribar el perímetre II fins a l'àrea de recàrrega principal.

6.1.3 Perímetre de protecció llunyà

Segons el reglament vigent (BOPA Núm. 88-Any 19 -24.10.2007), el perímetre de protecció pròxim es defineix com: "... és el perímetre que s'ha d'establir al voltant del perímetre pròxim i que, a partir d'un estudi hidrogeològic, té com a objectiu determinar la zona geogràfica des de la qual es pot veure afectada la qualitat de l'aigua captada per contaminacions permanents o difuses. Aquest perímetre és facultatiu i s'ha d'establir únicament quan les activitats que s'hi desenvolupen són susceptibles de poder provocar potencials contaminacions i sempre que l'adopció de mesures concretes sobre aquestes activitats en aquest perímetre, permeti reduir de manera significativa el risc de contaminació. L'estudi hidrogeològic ha de determinar la necessitat o no d'establir aquest perímetre. "

En aquest cas, a la part alta de l'àrea de recàrrega, les principals activitats que es duen a terme estan relacionades amb el turisme on l'accés es pot fer amb vehicles tot terreny. Es creu, convenient, doncs, establir el perímetre III de protecció (Fig.43). Aquest ha d'estar amb tota l'àrea de recàrrega, relacionada amb el regolit del Camp de Claror i es fa extensible a la resta d'àrea de recàrrega considerada.

A més a més, s'ha de tenir en compte que en el cas de la part alta, Camp de Claror, forma part de dos perímetres de protecció simultàniament, de la captació de la font de Certers (D-020-ACSJ-003.05.13) i de la captació dels pous de Llumeneres (D-020-ACSJ-004.05.13)(Fig.44).

A l'**annex** (A12) de documentació s'hi pot trobar el disseny dels perímetres de protecció

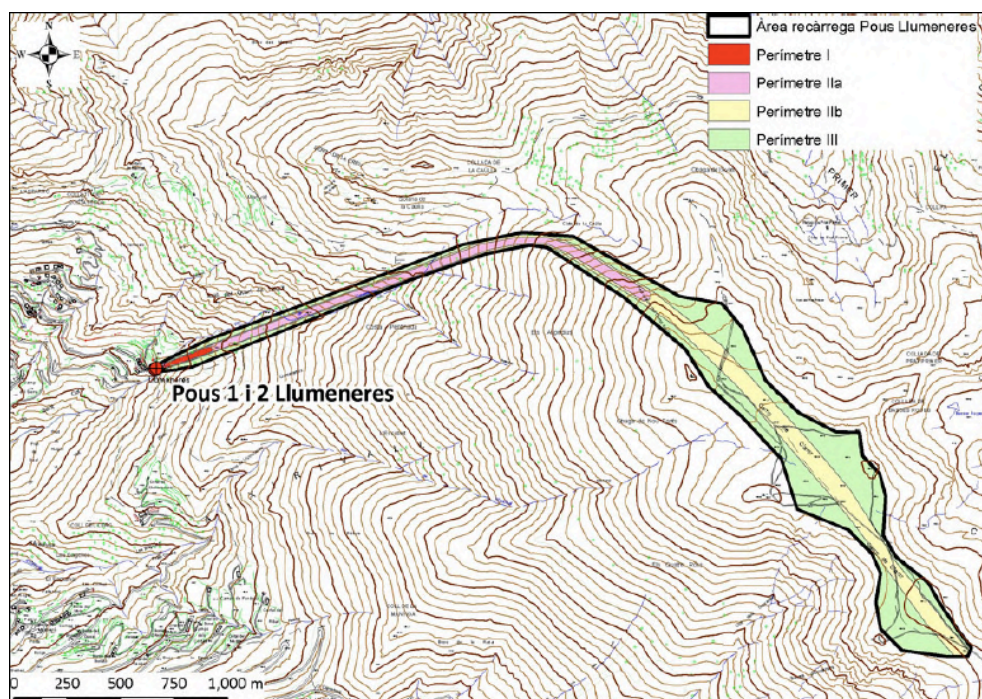


Figura 43. Mapa dels perímetres de protecció de la captació dels pous de Llumeneres. (Elaboració pròpia sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995))

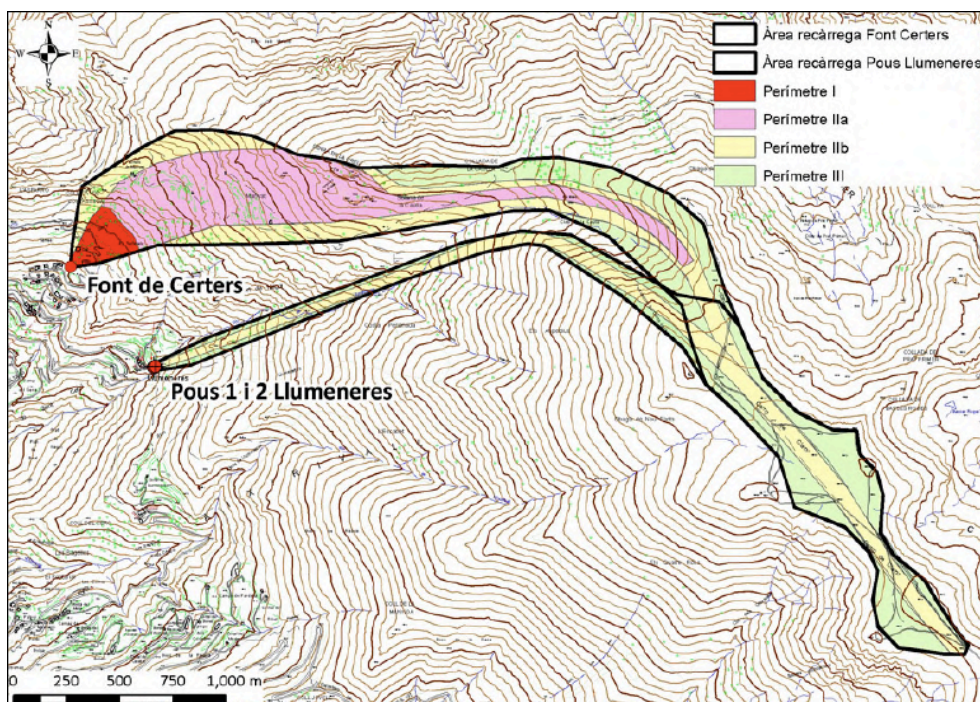


Figura 44. Perímetres de protecció de la captació de la font de Certers i dels pous de Llumeneres. (Elaboració pròpia sobre mapa topogràfic escala 1:5000 (M.I. Govern ,1995))

6.2 Fonts de contaminació potencials

En aquest apartat cal anotar que actualment no existeix cap font potencial de contaminació que no estigui associada a l'activitat antròpica que es desenvolupa al sector. Per conèixer aquestes fonts de contaminació antròpiques s'ha de consultar l'apartat 6.4 d'aquest mateix informe.

6.3 Vulnerabilitat intrínseca de l'aqüífer

La vulnerabilitat intrínseca s'ha realitzat tenint en compte dos mètodes de càlcul, el primer el sistema GOD modificat utilitza 5 paràmetres per al seu càlcul, mentre que el sistema DRASTIC n'utilitza 7.

En el primer cas la vulnerabilitat s'ha definit en base a la cartografia de Vulnerabilitat dels aqüífers d'Andorra (2000), a escala 1:25.000 (IGEOTEST , **A-110-AG-041.04.00**). Aquesta cartografia s'ha dut a terme en base a l'aplicació del sistema GOD (Foster, 1987) modificat. Aquesta classificació (Fig.45) té en compte el tipus d'aqüífer, la tipologia dels materials sobre l'aqüífer de la zona no saturada, el pendent del terreny, la profunditat del nivell freàtic i la conductivitat hidràulica de la zona no saturada. Les característiques de cada punt analitzat es poden consultar en la memòria de la cartografia de Vulnerabilitat dels aqüífers d'Andorra (2000).

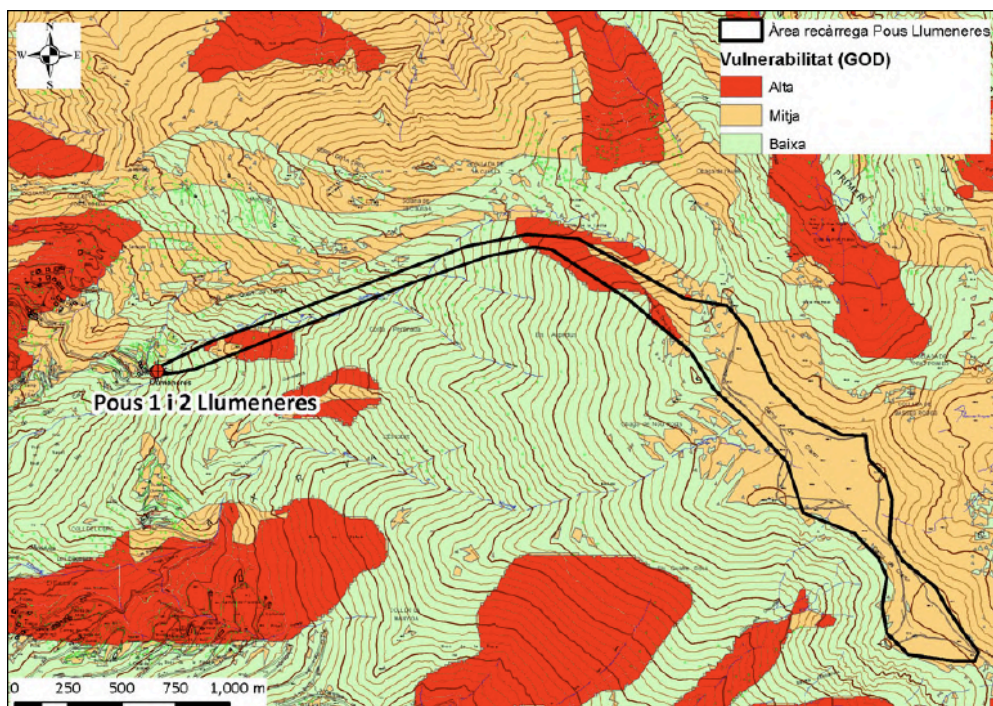


Figura 45. Mapa de la vulnerabilitat segons el mètode GOD modificat. (Elaboració pròpia segons la cartografia de Vulnerabilitat dels aqüífers d'Andorra (2000), a escala 1:25.000 (IGEOTEST , A-110-AG-041.04.00).

En el segon cas, la vulnerabilitat s'ha tret de l'informe de les aigües subterrànies d'Andorra (HIDRIC-EUROCONSULT, 2005) on s'ha utilitzat el sistema DRASTIC (Fig.45). Els paràmetres de càlcul són: la fondària de l'aigua o profunditat del nivell freàtic, la recàrrega neta que rep l'aqüífer, la litologia i estructura del medi aquífer, el tipus de sòls, la topografia del terreny, la natura de la zona vadosa i la conductivitat hidràulica.

Com es pot observar la distribució de la vulnerabilitat intrínseca calculada segons els dos mètodes (Fig.45 i Fig. 46) són molt semblants a la part alta de l'àrea de recàrrega. La zona alta (Camp de Claror) estaria classificada com una zona de vulnerabilitat mitjana.

No obstant, en la part mitja i baixa de l'àrea de recàrrega les vulnerabilitats reflecteixen graus diferents. Per exemple, a la zona alta del riu de Llumeneres, el mètode GOD la classifica com de vulnerabilitat baixa, mentre que el mètode DRASTIC la classifica com de vulnerabilitat alta. De la mateixa forma la zona on s'ubica la captació dels pous de Llumeneres està classificada com de vulnerabilitat baixa, mentre que el mètode DRASTIC la classifica com de vulnerabilitat alta.

En general, les zones amb afloraments rocosos se'ls hi atribueix una vulnerabilitat baixa, mentre que les zones recobertes per materials quaternaris (sediments de vessant, etc.) se'ls atribueix una vulnerabilitat alta. En aquest cas la vulnerabilitat alta s'associa a la presència de sediments en superfície, no obstant cal anotar que la captació s'alimenta del substrat rocós, pel que la vulnerabilitat en aquest tram seria baixa.

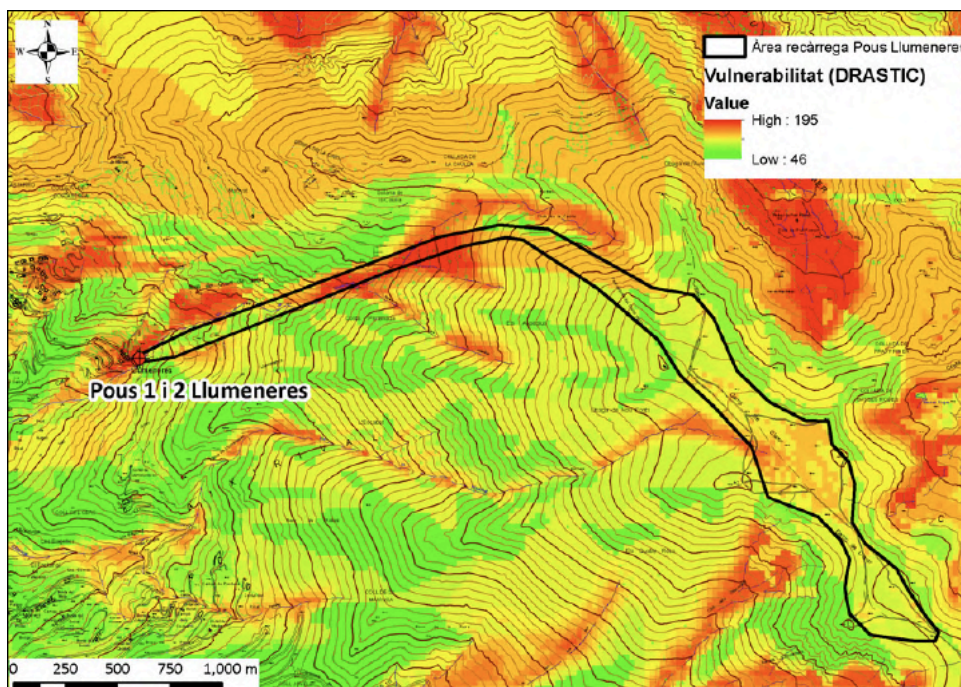


Figura 46. Mapa de vulnerabilitat segons el mètode DRASTIC. (Elaboració pròpia segons la cartografia de Vulnerabilitat dels aqüífers d'Andorra (2000), a escala 1:25.000 (IGEOTEST , A-110-AG-041.04.00).

6.4 Activitats antròpiques

Les infraestructures existents a la zona que podrien ser focus d'una possible contaminació serien les següents (com s'observa en Fig. 47):

- camins de muntanya i pistes de terra, on es diferencien:
 - o Els camins de muntanya, accessibles normalment, a peu. Tot i que no es descarta l'accés de motos.
 - o El GR7, freqüentat igualment per excursionistes practicant senderisme
 - o Les pistes de terra situades al Camp de Claror, les quals són accessibles amb vehicles tot terreny, des del sector de La Rabassa.

Els camins i pistes existents, permeten a l'estiu l'accés d'excursionistes a peu, així com a vehicles motoritzats, tal com vehicles 4x4 o motos, ja que no hi ha cap tipus de prohibició.

El perill de contaminació associat a aquestes pistes realment vindria condicionat als trams on es permet l'accés rodat de vehicles, sobretot a l'estiu ja que a l'hivern queden sota la neu.

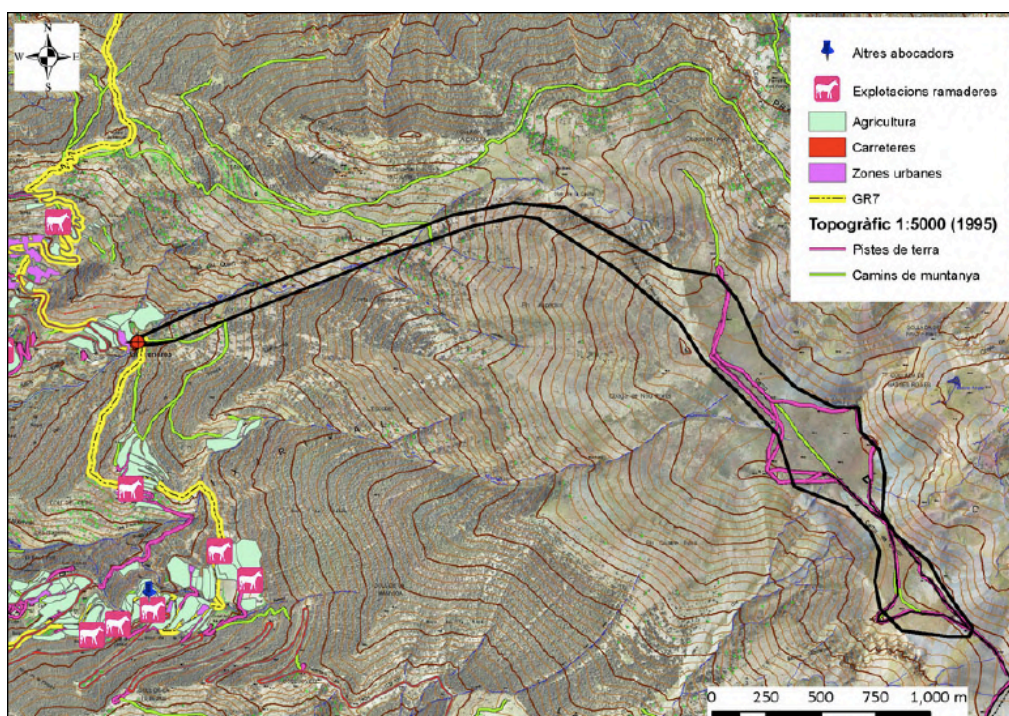


Figura 47. Mapa representant les possibles fonts de contaminació potencial. Elaboració pròpia, mitjançant mapa topogràfic a escala 1:5000 (M.I Govern ,1995) modificat segons la ortofotomapa del sector del 2004 (www.sigma.ad), i tenint en compte les activitats inventariades a l'informe de "Les aigües subterrànies del Principat d'Andorra" (EUROCONSULT-HIDRIC, 2005).

Observar les cobertes de sòls (Fig. 48) ens pot ajudar a tenir una idea sobre les possibles activitats antròpiques que es poden desenvolupar al sector, però més relacionades amb el medi ambient i amb el manteniment de les activitats ramaderes i agrícoles.

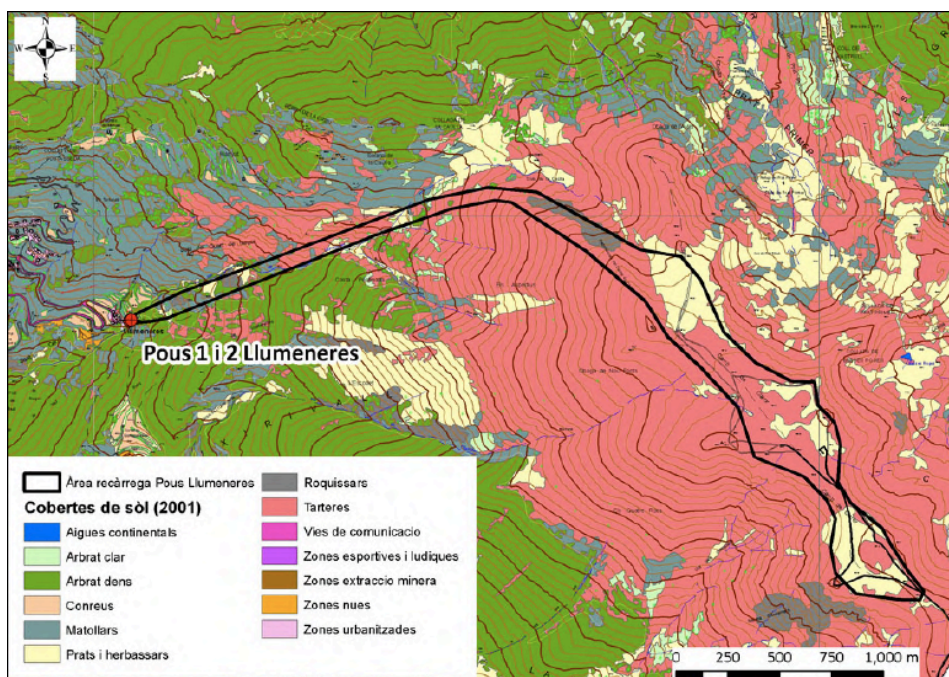


Figura 48. Mapa cobertes de sòls. Escala 1:5000 (CD_ROM). Centre de Biodiversitat. Institut d'estudis Andorrans. Març 2001. ISBN 99920-2-016-4 sobre mapa topogràfic a escala 1:5000 (M.I Govern ,1995)

En l'àrea de recàrrega s'identifiquen:

-Prats i herbassars: l'aprofitament d'aquestes zones, de manera estacional, per l'activitat ramadera concentrada puntualment poden produir una contaminació de tipus orgànic, controlable, però, amb l'ús de sistemes de potabilització convencionals (cloració, etc).

-Tarteres

- Arbrat dens

- Matollars

Durant l'estiu el sector és aprofitat per fer activitats de tipus lúdic, d'esbarjo i natura com senderisme, etc., que en principi només produirien contaminacions de tipus puntuals però de poca incidència en les aigües captades.

6.5 Mapa de risc de contaminació

El valor de risc ve donat pel producte de la vulnerabilitat intrínseca del sistema aquífer (V) i la perillositat de les activitats que s'hi desenvolupin (P).

$$R = P \cdot V$$

En aquest sentit per tal de determinar la perillositat de les activitats mencionades al capítol anterior, i degut a que a Andorra no existeix cap normativa en relació a les activitats permeses o no dins dels perímetres de protecció, s'ha fet ús de la taula d'activitats permeses dins de cada perímetre de protecció seguint les recomanacions de la normativa Suïssa " *Instructions pratiques pour la détermination des secteurs de protection des eaux, des zones et de périmètres de protection des eaux souterraines. Office fédéral de la protection de l'environnement, octobre 1982*". La taula d'aquestes activitats es troba a l'**annex** (A13) de documentació.

Taula 8. Taula de valors de perillositat. Per a la seva millor comprensió s'ha optat per utilitzar un codi de colors.

Símbol	Autorització	Perillositat	Valor perillositat
-	No autoritzat	Alta	2
+ () o b	Autorització condicional	Mitja	1
+	Autoritzat o no present	Baixa	0

Taula 9. Perillositat en funció de les activitats antròpiques generades a cada perímetre de protecció.

Activitats existents	Perímetres de protecció			Fora del perímetre
	I	II	III	
Ramaderia estiu	0	1	0	0
Camins accés rodat vehicles	1	1	1	0
Camins	1	1	1	0

Com es pot veure a la taula anterior (Taula 9) existeix una perillositat mitjana en els perímetres I, II i III, associada a la presència de camins principalment.

Taula 10. Taula de vulnerabilitat intrínseca, com el cas per a taula 9 també s'ha optat per utilitzar un codi de colors.

Vulnerabilitat intrínseca	
Alta	3
Mitja	2
Baixa	1

Taula 11. Creuament de la taula de perillositat en funció de l'activitat generada a cada perímetre amb la taula de vulnerabilitat intrínseca, resultant en una llegenda de matriu de risc de contaminació.

		Perillositat per activitat		
		Alta	Mitja	Baixa
Vulnerabilitat intrínseca		2	1	0
Alta	3	6	3	0
Mitja	2	4	2	0
Baixa	1	2	1	0

Llegenda Matriu Risc

Molt alta	Alta	Mig	Baixa	Molt baixa
-----------	------	-----	-------	------------

Aquest representa el resultat final del risc de contaminació en funció de l'activitat generada. S'ha optat per no representar aquestes dades en un mapa ja que es desconeix les dimensions reals de cada activitat, com per exemple l'àrea dels camins, o àrea de les pistes replantades a l'estiu i fins i tot el tipus de productes fitosanitaris que es poden emprar. De manera que aquesta taula (Taula 12), ens dóna una idea del màxim risc que es pot derivar d'aquestes activitats.

Taula 12 . Risc de contaminació en funció de l'activitat generada

	Vulnerabilitat intrínseca			
	Baixa	Alta/Mitja/Baixa	Alta/Mitja/Baixa	-
Activitats existents	I	II	III	Fora de perímetre
Ramaderia estiu	0	2	0	0
Camins accés rodat vehicles	1	2	2	0
Camins	1	2	2	0

Llegenda Matriu Risc

Molt alta	Alta	Mig	Baixa	Molt baixa
-----------	------	-----	-------	------------

Com s'extreu de la taula 12 el risc més alt que es podria donar seria de tipus mig, no obstant, cal matisar algunes d'aquestes activitats. El risc associat a camins i a l'activitat ramadera d'estudi serà per una contaminació de tipus microbiològic, fàcilment eliminables amb sistemes de cloració.

La zona més conflictiva estaria relacionada amb l'àrea de recàrrega de la zona del Camp de Claror on qualsevol vessament de benzina dels vehicles motoritzats podria infiltrar-se ràpidament, arribant a assolir el nivell freàtic. Per tant l'àrea a la que se li hauria de tractar amb més risc (risc mig) seria la zona de Camp de Claror.

D'altra banda es disposa del mapa de risc de contaminació realitzat a l'estudi de les aigües subterrànies del Principat d'Andorra (HIDRIC_EUROCONSULT, 2005) on es va avaluar el risc de contaminació de les aigües (Fig.49). Es veu com pràcticament la totalitat de la conca s'ha classificat com zona de risc mig de contaminació i la zona baixa (a prop dels pous de captació) es classifica com a zona amb baix risc de contaminació. Les zones de risc mig, coincideixen amb zones de combinació de vulnerabilitat alta sense presència d'activitats potencialment contaminants o zones de baixa vulnerabilitat i existència d'activitats potencialment molt contaminants.

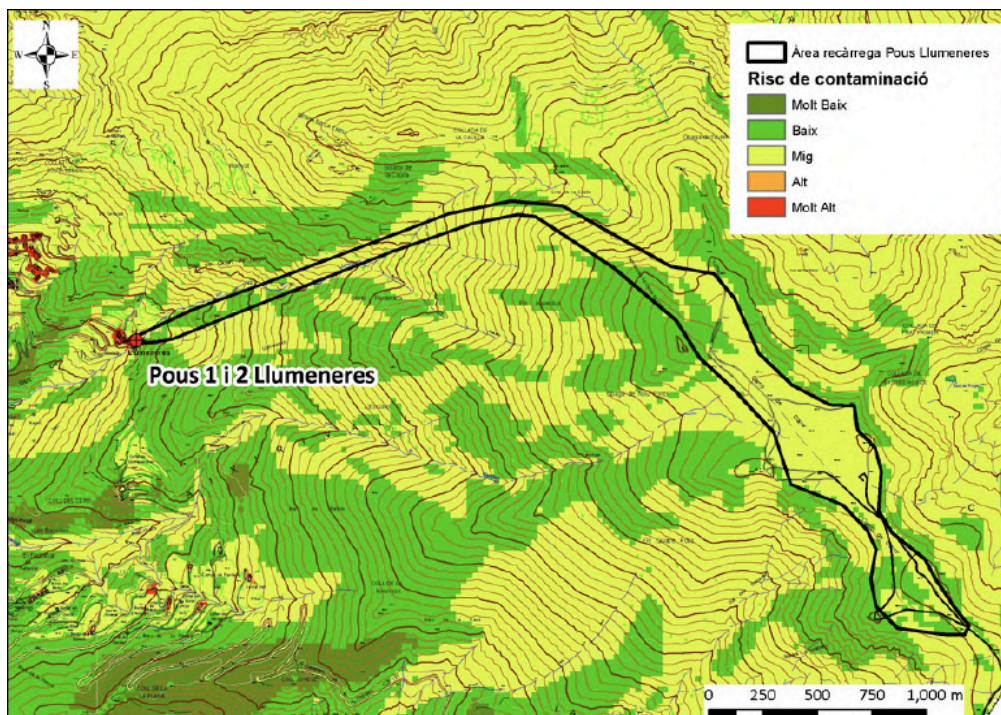


Figura 49. Mapa del risc de contaminació (EUROCONSULT-HIDRIC, 2005)

Es veu doncs, que les conclusions obtingudes en ambdós casos serien les mateixes, zona de risc baix de contaminació a prop de les captacions i mig a la resta de la conca, però amb especial interès a la zona del Camp de Claror, per ésser una zona de recàrrega directa de l'aigua.

6.6 Sistemes de prevenció a adoptar

La primera mesura preventiva a banda de les activitats que poden tenir lloc en la zona, seria la de ficar una tanca física al voltant de la captació per tal d'evitar l'accés de persones alienes i d'animals al sector. No obstant, tal com s'ha explicat al capítol del perímetre I (veure les seves característiques a l'apartat 5.1), aquesta tanca no es pot col·locar, però amb les mesures existents actualment es considera que ja disposen del grau de protecció suficient.

En relació a les activitats potencialment contaminants, el seu perill vindria donat per l'accés de transit rodat de la conca, per tant hom recomanaria que des del Comú de Sant Julià de Lòria es realitzes una restricció de la circulació de vehicles no autoritzats a la zona.

En el cas de les contaminacions de tipus orgànic, produïdes potencialment per les activitats ramaderes, les activitats lúdiques (principalment excursionisme), aquestes són fàcilment eliminables amb sistemes de potabilització. Per tant, qualsevol aigua que es destini al consum humà haurà de passar prèviament per un sistema de potabilització com és el cas.

Degut a què les contaminacions poden ser de molt divers origen es recomana realitzar anàlisis periòdiques de l'aigua per determinar en cada moment la qualitat de l'aigua natural i poder analitzar de manera relativament ràpida la presència d'elements contaminants en el sector. En aquest sentit el Servei d'aigua disposa al dipòsit de Certers d'un aparell de medició en continu de la terbolesa, temperatura, conductivitat i pH, de forma que l'analítica com a mínim es realitza de manera diària. Així mateix, durant l'estiu del 2013 s'ha instal·lat un sistema de telegestió, que permet disposar de les dades en qualsevol moment. D'altra banda també es realitzen les analítiques de comprovació mensualment, així com l'anàlisi d'auditoria cada 5 anys, com marca el Reglament.

En el cas de contaminació microbiològica, si els sistemes de depuració del dipòsit no funcionessin, es podria fer servir un equip mòbil de cloració per instal·lar-lo de manera puntual al dipòsit contaminat. L'equip serà autònom amb bateries. No obstant, com alternativa es disposa d'una cisterna de transport d'aigua homologada a tots els efectes, amb la possibilitat de donar aigua del dipòsit de la Borda de l'Arena.

6.7 Plans d'emergència i mesures de vigilància

Els plans d'emergència han de servir per definir les accions necessàries en resposta a una eventual contaminació de les aigües captades que empitjorin la qualitat o les condicions de potabilitat o a una falta de cabal com per a no garantir el consum mínim demanat. Actualment des del M.I Govern no existeix un protocol d'actuació referent a plans d'emergència sobre contaminació de captacions d'aigua pel consum humà.

Així doncs, es podria proposar un protocol que seguís el següent esquema (Fig.50) , tal com es planteja des del Ministeri d'agricultura francès.



Figura 50. Taula extreta de Martínez i Garcia (2003)

S'ha de tenir en compte que els perills als quals estan sotmeses les aigües captades es deuen a efectes sobre la qualitat de l'aigua (agents biològics, químics o físics) i a efectes sobre la quantitat d'aigua (cabal).

La xarxa de Certers-Llumenères s'abasteix de la font de Certers i dels pous de Llumenères, ambdues captacions pertanyen a aquífers diferents, no obstant cal anotar que comparteixen l'àrea de recàrrega principal situada en el Camp de Claror. Així, doncs, en el cas de contaminació d'una de les dues captacions es tindria l'altra com a reserva, no obstant, en el cas que les dues es contaminessin de manera simultània s'hauria d'abastir als usuaris mitjançant cisternes homologades de transport d'aigua o aigua embotellada de manera ràpida, com a conseqüència de la possible inutilització de la captació.

Posteriorment es podria avaluar el grau d'afectació de la contaminació a la captació i prendre les mesures adients, analitzant cada cas en concret.

En quant a les mesures preventives existents, cal dir, que el dipòsit de Certers (de 450 m³) disposa d'un sistema de control en continu automatitzat que controla: el nivell d'aigua, la concentració de clor en continu (com a agent desinfectant s'utilitza l'hipoclorit sòdic) i el defecte d'alimentació elèctrica.

Així mateix es porten a terme 3 nivells d'anàlisi per controlar la qualitat sanitària de l'aigua segons la normativa: anàlisi mínima (diàriament), de comprovació (mensual) i d'auditoria (cada 5 anys) a la captació.

7. CONCLUSIONS

L'objectiu principal d'aquest treball, era de determinar els perímetres de protecció de la captació d'aigua potable dels pous de Llumeneres (Andorra).

Primerament es fa una caracterització a nivell geològic, determinant la situació dels pous prop del contacte entre les pissarres negres del Silurià i la Quarsita de Bar (Devonià). La zona presenta encavalcaments, que queden reflectits a la descripció de la columna litografia en apartat 2 (antecedents). En aquesta columna, es mostra la alternància de les litologies, indicant la presència de materials calcaris, no obstant, els trams aquífers (per on entra l'aigua subterrània al pou), estan situats al contacte de les calcaries alternades en pissarres, i amb el contacte de pissarres alternades amb la quarsita de bar. Aquesta litologia es confirma en la interpretació de les característiques físico-químiques, caracteritzant l'aigua com un aigua dolça de baixa mineralització amb un pH proper a la neutralitat. En apartat 4.3, aquestes aigües es classifiquen químicament, com a aigües bicarbonatades-sulfatades càlciques. A falta d'una anàlisi completa de cations i anions, per a la realització d'una caracterització de les aigües des d'un punt de vista de la seva composició química, s'ha aproximat la classificació mitjançant les propietats dels materials de l'aquífer.

En quan a la caracterització hidrogeològica, s'obtenen els paràmetres hidrogeològics mitjançant un assaig de bombeig, resultant en un coeficient d'emmagatzematge de 0,002, una transmissivitat de l'ordre dels 30 m²/dia i una permeabilitat de l'ordre dels 1,1 m/dia. Les anàlisis isotòpiques permeten determinar l'àrea de recàrrega de l'aquífer a una cota de 2500 m (Camp de Claror). L'aquífer es classifica com un aquífer fissurat, delimitat al sud pel límit entre la Quarsita de Bar i la Formació Ansovell/Formació Estana i al nord, pels materials del Silurià, que actuarien com a capa impermeable. El flux de l'aigua (com es mostra en apartat 5) aniria en direcció E-W de forma general. Concretament des del Camp de Claror el flux segueix la morfologia del límit (falla) entre els materials del Silurià i la Quarsita de Bar, primer en sentit SE a NW i en arribar al sector de la Collada de la Caül·la en el sentit NE-SW.

Els perímetres de protecció s'han delimitat seguint el mètode de Wyssling i seguint a més a més criteris hidrogeològics. El perímetre immediat màxim quedaria definit per una distància, en el sentit del flux, de 270m aigües amunt de la captació i de 14,1 m aigües avall de la mateixa. Actualment els pous no disposen de cap tanca física. No obstant, però, cal dir que se situen al mig del GR7 i se situen a 1,9 i 1,15 m de fondària respecte al nivell del camí, quedant protegits per unes arquetes de ferro que impedeixen l'accés als mateixos, i per tant, no s'estima necessari adoptar cap altra mesura de protecció.

El perímetre II arribaria fins a l'àrea de recàrrega principal a través de fractures de major o menor identitat. El perímetre III inclou la resta de l'àrea de recàrrega considerada. Així mateix, s'ha de tenir en compte que la part alta del perímetre (zona del Camp de Claror) forma part també del perímetre de protecció de la font de Certers.

De les activitats antròpiques potencialment contaminants identificades s'extreu que l'àrea amb major risc (mig) dins dels perímetres estaria relacionada amb l'àrea de recàrrega de la zona del Camp de Claror on qualsevol vessament de benzina dels vehicles motoritzats podria infiltrar-se ràpidament, arribant a assolir el nivell freàtic. Per minimitzar el risc es proposa restringir la circulació de vehicles no autoritzats a la zona.

8. LIMITACIONS I RECOMANACIONS

L'estudi s'ha basat en les dades hidrològiques recollides i que s'han facilitat fins el moment, essent de caràcter general; davant la complexitat del tema degut a l'alt nombre de factors que intervenen (heterogeneïtat del medi i per tant de paràmetres hidrogeològics, hidroquímica, etc.) el model proposat és aproximat, pel que seran necessaris estudis de detall per establir les particularitats del medi.

En base a les dades disponibles fins el moment, exposades en el present document, s'ha dut a terme un model hidrogeològic seguint una metodologia i càlculs també presentats, que han permès dissenyar un model de perímetres de protecció. Aquest model és susceptible a ésser modificat, ajustant-lo a l'actualització de la topografia, dels plans d'emergència, al recull de noves dades recollides i a l'existència de noves tècniques de treball. Per tant, per motius tècnics i de coneixements es pot donar una validesa de 5 a 10 anys al model. Passat aquest temps, els resultats s'haurien de re-considerar.

Així mateix, cal fer incís que els límits establerts per cada perímetre de protecció són fruit de les dades existents, i del model hidrogeològic elaborat, essent un límit aproximat. En cas de desenvolupar-se dins els límits una activitat nova o no tractada en el present treball en detall, de tipus temporal o definitiu, s'haurà d'avaluar el grau d'afectació en la qualitat i quantitat de les aigües captades, a partir d'un estudi hidrogeològic de detall. Aquest estudi de detall pot servir així mateix per reajustar els perímetres presentats en el present treball. En cas de provar-se la no afectació de les aigües, l'activitat s'ha de poder desenvolupar malgrat el disseny del perímetre presentat. Per tant els perímetres presentats no són de caràcter restrictiu.

9. BIBLIOGRAFIA

ANDERTON SP, WHITE SM, ALVERA B. (2004). Evaluation of spatial variability in snow water equivalent for a high mountain catchment. *Hydrological Processes* 18: 435–453.

ARCE, M., GARCÍA, M.A i ARQUED, V. (2001). “*Caracterización del oxígeno 10, deuterio y tritio en las aguas del Pirineo. Las cares del agua subterránea*”. (Median y Carrera, eds), Congreso en Memoria de Germán Galarza de 2001. Barcelona.

ARAGUÁS, L & PLATA, A. (1999). “*Trazadores naturales en la identificación y caracterización del origen y dinámica de los flujos de agua en el entorno de preses y embalses*”. En: PLATA, A. (1999): Manual de fugas en embalses. Monografía CEDEX, Serie Manuales y Recomendaciones, R-12. Madrid

BESSON, M. (1990). “*Notice explicative, “Carte géologique de la France” (1/50.000), Feuille Fontargente*”. Ministère de l’industrie et de l’Aménagement du Territoire, BRGM. Service Géologique National.

BESSON, M. (1991). “*Notice explicative, “Carte géologique de la France” (1/50.000), Feuille Fontargente*”.

BOU, O. (1988). “*L’estructura geològica del dom de la Rabassa, Pirineu central, Andorra/Catalunya*”. Tesis de llicenciatura, Univ. Autònoma de Barcelona, 123 p.

Butlletí Oficial del Principat d’Andorra. BOPA 88, any 19, data 24-20-2007. “*Reglament relatiu als criteris sanitaris de la qualitat de l’aigua destinada al consum humà*”. (consultable a www.bopa.ad)

Butlletí Oficial del Principat d’Andorra. BOPA 19, any 25, data 24-04-2013. “*Decret d’aprovació del “Reglament relatiu als criteris sanitaris de la qualitat de l’aigua destinada al consum humà*”. (Consultable a www.bopa.ad)

CARRILLO, E., FERRE, A i LLUENT, A. (2003). “*Mapa de les zones de molleres d’Andorra. Grup de geobotànica i cartografia de la vegetació*”. Departament de biologia vegetal (botànica) de la Universitat de Barcelona.

CASAS, J.M i MASACHS, I. (2002) realitzat per al CRECIT (2002). “*Mapa geològic d’Andorra*”. Esc. 1/50.000 (CD-ROM). Institut d’Estudis Andorrans. ISBN 99920-0-291-3.

CEDEX (1995). “*Estudio de la hidrologia isotòpica del Alto Genil*”. Informe parcial nº 2 para la DGOH-CHG, 197 pp. Inèdit.

CENTRE DE BIODIVERSITAT. “*Mapa de cobertes del Sòl d’Andorra*”. Escala 1/5.000 (CD-ROM). Institut d’estudis Andorrans. Març 2001. ISBN 99920-0-016-4.

COPONS, R. (2005). “*Mapa geomorfològic d’Andorra*”. Esc. 1/50.000 (CD-ROM). Institut d’estudis Andorrans. ISBN 99920-2-034-2.

CRAIG, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133:1702-1703.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. (1996, 2001). “*Hidrología subterránea*”. Segunda Edición Corregida. Vol. I i II; Ed. Omega S.A. Barcelona.

ENGINESA (28/11/90) “*Resum econòmic i desenvolupament del pou de Llumeneres*” (Informe facilitat pel Servei d’aigua del Comú de Sant Julià de Lòria).

ENGINESA (Febrer 1991) “*Informe relatiu als resultats dels aforaments fets a Certers. Parròquia de Sant Julià de Lòria*” (Informe facilitat pel Servei d’aigua del Comú de Sant Julià de Lòria).

EUROCONSULT (2006). “*Estudi de la zonificació del terreny segons la seva problemàtica geològica. Gran Moviments de Certers*”. Ministeri d’urbanisme i Ordenament Territorial, Govern d’Andorra.

FEDA. Dades meteorològiques, disponibles en https://www.feda.ad/cat/coneixnos/comunicacio/meteo_historic.aspx [Visitat el 20/08/2013]

FOSTER, S.S.D. (1987). “*Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy*”. Vulnerability of soil and Groundwater to pollutants. TNO/RIVN. Proceedings and information 38, pp. 69-86.

HARTEVELT, J.J.A i ZWART, H.J. (1968). “*Geological map of Andorra, 1:50.000*”. Inèdit.

HIDRIC-EUROCONSULT (2005). “*Les aigües subterrànies del Principat d’Andorra*”. Govern d’Andorra, Departament de Medi Ambient. Expedient DMA 6423/05.

IAEA/WMO. “*Global Network for Isotopes in Precipitation*”. The GNIP Database. Accessible en http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html [Visitat el 13/06/2013]

www.ideandorra.ad Inventari de molles 2002-2010, SILVAGRINA (2006). [Visitat el 23/09/2013]

IGEOTEST (2000). “*Instruccions pràctiques per a la determinació dels perímetres de protecció i cartografia dels sectors de vulnerabilitat intrínseca del Principat d’Andorra*”. Expedient núm. A-110-AG-041.04.00.

IGEOTEST (2004). “*Avaluació dels recursos hídrics subterranis del Principat d’Andorra. Fase I : Balanç hídric*”. Expedient núm. D-020-AG-017.04.04.

IGEOTEST-DRYAS (2006). “*Testificació i aforament d’un pou entre Certers i Nagol. Parròquia de Sant Julià de Lòria*”. Expedient núm. D-020-EG-002.02.06.

IGEOTEST-DRYAS (2008). “*Mapa geomorfològic de les subzones 01 i 02 del Pla Especial de Naturlàndia. Processos actius i elements singulars. Parròquia de Sant Julià de Lòria*”. Expedient núm. D-010-ACSJ-036.11.08.

IGEOTEST-DRYAS (2014). “*Perímetres de protecció de la captació de la font de Certers. Parròquia de Sant Julià de Lòria*”. Expedient núm. D-202-ACSJ-003.05.13.

MARTÍNEZ, C. i GARCÍA, A. (2003). “*Perímetros de protección para captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al territorio*”. Publicaciones del IGME. Serie: *Hidrogeología y aguas subterráneas* nº 10. ISBN: 84-7840-496-1.

M.I. Govern (1995) Mapa topogràfic 1:5000 de l’any 1995 de l’Àrea de Cartografia i Topografia del M.I Govern d’Andorra. Georeferenciació crònica conforme de Lambert per a la zona III de França i Andorra amb Datum NTF.

M.I. Govern (2003). Ortofotografia Color 1:5000 de l’any 2003 del Principat d’Andorra. (Servei WMS a : www.geoportalideandorra.ad)

MINGARRO, F i ORDOÑEZ, S. (1982). “*Petrología exógena I; hipergénesis y semitongénesis alóctona*”. En: Mingarro, F. y Ordóñez, S. (1982). *Petrología Exógena I*. Ed. Rueda, Madrid.

PLATA, A. (1999). “*Manual de fugas y embalses*”. Monografía CEDEX, Serie Manuales y Recomendaciones, R-12. Madrid.

POBLET, J. (1987). “*Estudi geològic del sector central del sinclinal de Llavorsí (Pirineu central)*”. Tesi de llicenciatura, Univ. Barcelona, 163 p.

PONSA, A i PLANAS, X. (2001). “ *Análisis histórico y tendencia de la temperatura y precipitación desde la primera mitad del siglo XX en el Principat d’Andorra*”. A: I Congreso de Cuaternario de Países de Lenguas Ibéricas. Actas. Lisboa, 2001.

PRAT, M.C. (1980). “*Montagnes et vallées d’Andorre, étude géomorphologique*”. Tesis de 3er cicle, Institut de Géographie de la Université de Bordeaux III, inédita, 267 pág.

RASO, J.M. (1999) “ *Monogràfic de geografia : El clima d’Andorra*” Volum 5. Editat pel Govern d’Andorra.

TURU, V. & PLANAS, X. (2005). “*Inestabilidad de vertientes en los valles del Valira. Datos y dataciones para el establecimiento de una cronología, posibles causas. Andorra y Alt Urgell (Pirineos Orientales)*”. VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables Valencia, 21-24 Junio de 2005.

VILLANUEVA, M. i IGLESIAS, A. (1984). “Pozos y acuíferos” . *Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. IGME (De). Madrid.

YEHDEGHO, B & REICHL, P. (2002). “ Recharge areas and hydrochemistry of carbonate springs issuing from Semmering Massif, Austria, based on long-term oxygen-18 and hydrochemical data evidence”. *Hydrogeology Journal*, 10: 628-642.